



TESIS RC-2399

# **KARAKTERISTIK MEKANIK DAN DINAMIK *CLAY SHALE* KABUPATEN TUBAN TERHADAP PERUBAHAN KADAR AIR**

OLEH : RIZKA ADI ARIESNAWAN  
NRP : 3112.201.002

DOSEN PEMBIMBING :  
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng  
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



THESIS RC-2399

# **THE MECHANIC AND DYNAMIC CHARACTERISTIC OF TUBAN CLAY SHALE DUE TO CHANGES OF WATER CONTENT**

BY : RIZKA ADI ARIESNAWAN  
STUDENT IDENTITY NUMBER : 3112.201.002

THESIS SUPERVISOR :  
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng  
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si

POST GRADUATE PROGRAM  
FIELD OF STUDY : GEOTECHNICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER (ITS)  
SURABAYA  
2015

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)  
di  
Intsitut Teknologi Sepuluh Nopember

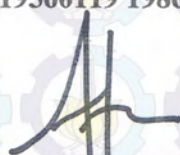
oleh :  
**RIZKA ADI ARIESNAWAN**  
NRP. 3112 201 002

Tanggal Ujian : 19 Januari 2015  
Periode Wisuda : Maret 2015


Disetujui oleh :

1.   
**Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng**  
NIP. 19560119 198601 2001

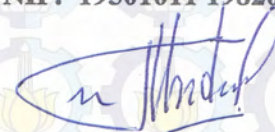
(Pembimbing I)

2.   
**Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si**  
NIP. 19760123 200003 1001

(Pembimbing II)

3.   
**Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA**  
NIP. 19501011 198203 1002

(Penguji)

4.   
**Dr. Ir. Djoko Untung**  
NIP. 19500130 197603 1001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana

  
**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T**  
NIP. 19640405 199002 1001



# **KARAKTERISTIK MEKANIK DAN DINAMIK CLAY SHALE KABUPATEN TUBAN TERHADAP PERUBAHAN KADAR AIR**

Nama mahasiswa : Rizka Adi Ariesnawan  
NRP : 3112.201.002  
Pembimbing : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng  
: Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si

## **ABSTRAK**

Beberapa masalah terjadi pada konstruksi di atas lapisan *clay shale* yang diakibatkan oleh investigasi awal yang kurang tepat. Parameter yang dipakai dalam perencanaan tidak memperhitungkan perubahan karakteristik akibat penggalian dan pelapukan yang terjadi pada *clay shale*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh perubahan kadar air terhadap karakteristik fisik, mekanik dan dinamik *clay shale* dengan proses pembasahan dan pengeringan. *Clay shale* diambil dari area penambangan PT. Semen Indonesia di Desa Meliwang, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban.

Penelitian yang dilakukan meliputi uji karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik *clay shale* (pengujian volumetri gravimetri, batas-batas *atterberg*, analisa ayakan, tes *suction*, tes elemen bender, tes *point load*, dan uji keausan) terhadap perubahan kadar air. Persentase penambahan air ditentukan sebesar 20% dari selisih antara kadar air kondisi jenuh ( $w_{sat}$ ) dengan kadar air kering lapangan. Analisa kandungan kimia juga dilakukan pada *clay shale* di lokasi studi dengan difraksi sinar X dan SEM. Hasil analisis mineralogi digunakan sebagai gambaran awal karakteristik *clay shale*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan lempung dalam *clay shale* sangat mempengaruhi karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik. Jenis mineral lempung pada *clay shale* menyebabkan perbedaan karakteristik penyerapan air dan berat spesifik. Mineral lempung *illite* dan *montmorillonite* pada *clay shale* mempunyai sifat penyerapan air yang tinggi. Pada saat pembasahan dari kondisi kering ke kondisi jenuh, terjadi peningkatan angka pori sebesar 116,73%. Setelah mengalami pembasahan dan pengeringan berulang, angka pori mengalami kenaikan sebesar 15,47% dari kondisi inisial. Pada akhir siklus ke-2, tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) *clay shale* Tuban turun sebesar 73,95 %. Penurunan tegangan air pori diikuti dengan turunnya parameter dinamik dan mekanik *clay shale*. Modulus geser ( $G_{max}$ ) *clay shale* Tuban mengalami penurunan sebesar 82,93%. Kuat tekan ( $q_u$ ) *clay shale* Tuban juga mengalami penurunan sebesar 70,41% dari kondisi inisial setelah mengalami pengeringan pembasahan. Besar nilai Kuat tekan ( $q_u$ ) tertinggi diperoleh pada kondisi kering yaitu sebesar 44,773 kg/cm<sup>2</sup>. Penurunan kekuatan *clay shale* disebabkan oleh

rekahan yang terjadi akibat kembang susut dan peralihan parameter dari kategori batuan menjadi tanah akibat pelapukan.

Rentang perubahan parameter *clay shale* harus diperhatikan para ahli geoteknik pada saat menentukan parameter fisik, mekanik, dan dinamik pada proses perencanaan bangunan diatas lapisan *clay shale*. Berdasarkan hasil penelitian, penurunan parameter terjadi signifikan pada saat *clay shale* mengalami pembasahan satu kali (1 siklus).

**Kata kunci:** *clay shale*, kadar air, mineralogi, parameter mekanik dan dinamik, pembasahan - pengeringan, Kabupaen Tuban

# **THE MECHANIC AND DYNAMIC CHARACTERISTIC OF TUBAN *CLAY SHALE* DUE TO CHANGES OF WATER CONTENT**

By : Rizka Adi Ariesnawan  
Student's Identity Number : 3112.201.002  
Supervisor : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng  
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si

## **ABSTRACT**

There are some problems happened to the construction on clay shale affected by some misaccuracies of soil investigation. The parameter isn't concerned the change of characteristic due to digging and weathering process on clay shale. The aim of this research is to find out the changes of water content effect to the characteristic of clay shale that included physical, mechanical and dynamic properties within drying and wetting process. The clay shale is taken from mining area of PT. Semen Indo located in Meliwang village, subdistrict of Kerek, regency of Tuban.

This research includes the examination of water content's influences to the physic, mechanic and dynamic characteristic of clay shale (volumetri gravimetri test, atterberg limits, partikel size test, suction test, bender element test, point load test and durability test). The percentage of water adding divided gradually at 20% of saturated water content differ from air dried condition. The analysis of chemical contents also done at the research area with x-ray diffraction and scanning electron microscope test. The chemical analysis result used to show an initial behaviour of the characteristic of clay shale.

The result of this research shows that the clay content of clay shale has significant effect on its physical, mechanical, and dynamic characteristics. The contained of clay mineral in clay shale caused the difference characteristic of the water absorption based on its specific surface. The characteristic of Illite and montmorillonite on clay shale have higher water absorption compared to kaolinite. From air dried to the saturated conditions, the pore number increased about 116,73%. On the other hand that the clay shale came to high swelling potential. After drying-wetting cycle applied, pore number increased 15,47% from its initial condition. At the end of the second cycle, the negative pore pressure value ( $-U_w$ ) of Tuban's clay shale decreased about 73,95%. The decrease of pore number followed by the reduction of dynamic and mechanic parameter on clay shale. The dynamic shear modulus of Tuban's clay shale decreased about 82,93%. The compressive strength ( $q_u$ ) of Tuban's clay shale also decreased about 70,41% from the initial condition after drying wetting process. The highest undrained compressive strength ( $q_u$ ) reached at 44,73 kg/cm<sup>2</sup> at the dried state.

The decreasing of the clay shale strength caused by surface cracking during shrinking and the shifting of its parameter from rock to soil category due to weathering.

The great changes of parameter's range in clay shale must be considered when the geotechnical experts determine the physical, mechanical, and dynamic parameters when planning a building construction on it. Based on the result of the research, the decreasing occurred significantly at one drying wetting cycle of clay shale.

**Keyword:** clay shale, drying-wetting cycle's, mineralogy, regency of Tuban, static and dynamic properties, water content

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan Inayah-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan. Tesis dengan judul “Karakteristik Mekanik dan Dinamik Clay Shale Kabupaten Tuban terhadap Perubahan Kadar Air” ini disusun sebagai persyaratan kelulusan pada Program Pascasarjana, Program Studi Teknik Sipil, Bidang Keahlian Geoteknik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada saat penulisan tesis ini penulis telah banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, baik berupa bantuan secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang penuh perhatian serta kesabaran dalam membimbing, membina dan mengarahkan penulisan ini hingga selesai.
2. Bapak Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si.,M.Si, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membina, mengarahkan serta memberikan masukan yang berharga untuk penelitian ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA, selaku Dosen Penguji juga sekaligus Koordinator Bidang Keahlian Geoteknik S-2 Teknik Sipil ITS, yang telah memberikan banyak bimbingan, dorongan dan saran-saran yang berharga.
4. Bapak Dr. Ir. Djoko Untung, selaku Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran-saran dan masukan yang berharga.
5. Seluruh Dosen Bidang Keahlian Geoteknik, Program Pascasarjana Teknik Sipil ITS Surabaya: Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc, Ph.D, Ibu Prof. Ir. Noor Endah B. Mochtar, M.Sc, Ph.D, Bapak Prof. Dr. Herman Wahyudi, DEA, Bapak Ir. Ananta Sigit Sidharta, M.Sc. Ph.D, Bapak Ir. Suwarno, M.Eng, Bapak Trihanyndio Rendy, ST,.MT atas segala jerih payah dan dorongan moril yang diberikan selama masa studi.
6. Seluruh Staf Laboratorium Mekanika Tanah Dan Batuan FTSP ITS: Bapak Ir. Gani, Bapak Herry Setiawan, B.E, Bapak Umar Burhanuddin, Bapak Harno, Bapak Osias, dan mas endro yang telah banyak membantu saat persiapan dan pelaksanaan penelitian di laboratorium.
7. Seluruh Staf Administrasi Pascasarjana Teknik Sipil ITS: Mas Robin, Pak Fauzi dan Mbak Lusi yang telah banyak membantu urusan administrasi semasa kuliah.
8. Orang Tua dan Keluarga, Bapak Ahyar Junaidi dan Ibunda tercinta Lilik Hanifah dan sekeluarga semuanya yang selalu memberikan dorongan, semangat, motivasi dan terutama Do’a.
9. Orang Tua dan Keluarga, Bapak Wahyono Setyadi dan Ibunda Wiwik tercinta dan sekeluarga semuanya yang selalu memberikan dorongan, semangat, motivasi dan terutama Do’a.



10. Istri dan anak-anakku, Dwi Ayu Setyadi, Farros Daniyal Azka dan Fraula Amira Azka yang selalu memberikan dorongan, semangat, motivasi dan terutama Do'a.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu di dalam tulisan ini, namun penulis yakin mereka telah banyak membantu dengan ikhlas.

Apabila dalam tulisan ini masih ada terdapat kesalahan, penulis mohon kritik dan saran. Akhirnya, penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat bagi pembaca untuk memperkaya ilmu pengetahuan khususnya pada bidang Geoteknik.

Surabaya, Januari 2015  
Penulis,

Rizka Adi Ariesnawan

# DAFTAR ISI

halaman

## HALAMAN JUDUL

## LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR ISTILAH.....	xvii
DAFTAR SIMBOL.....	xix

## BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan dan Batasan Masalah.....	3
1.2.1. Perumusan Masalah.....	3
1.2.2. Batasan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Manfaat.....	5

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Batuan.....	7
2.2. Klasifikasi Batuan.....	7
2.3. Pelapukan Batuan.....	8
2.4. Geologi dan Statigrafi Kabupaten Tuban.....	11
2.5. <i>Clay Shale</i> .....	13
2.5.1. Struktur dan Komposisi <i>Clay Shale</i> .....	13

2.5.2. Komposisi Mineral <i>Clay Shale</i> .....	14
2.5.3. Sifat Umum Mineral Lempung.....	20
2.5.4. Identifikasi <i>Clay Shale</i> .....	22
2.6. Pengujian <i>Clay Shale</i> .....	23
2.6.1. Sifat – Sifat Fisik <i>Clay Shale</i> .....	23
2.6.1.1. Porositas.....	24
2.6.1.2. Densitas.....	25
2.6.1.3. Durabilitas (Ketahanan Batuan).....	26
2.6.2. Parameter Sifat Mekanis Batuan <i>Clay Shale</i> .....	29
2.6.2.1. Pengujian Dengan Tes Tekan Tanpa Tekanan Samping....	29
2.6.2.2. Pengujian Dengan Alat Uji Beban Terpusat ( <i>Point Load Test</i> ).....	29
2.6.3. Parameter Sifat Dinamik <i>Clay Shale</i> .....	31
2.6.4. Uji Pengembangan ( <i>swelling</i> ).....	34
2.6.5. Pengeringan dan Pembasahan.....	36
2.6.6. Tegangan Air Pori Negatif.....	37
2.6.7. Sifat Kimiawi <i>Clay Shale</i> .....	39
2.6.7.1. Analisa Kandungan Kimiawi Batuan Dengan Metode Pengujian Difraksi Sinar-X ( <i>X-Ray Diffractometer</i> ).....	39
2.6.7.2. Analisa Kandungan Kimiawi Batuan Dengan Metode Pengujian Mikroskop Pemindai Elektron ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ).....	41
2.7. Studi Hasil Penelitian Sebelumnya.....	42
2.7.1. <i>Clay Shale</i> Cipularang.....	42
2.7.2. <i>Bringelly Shale</i> .....	43
2.7.3. <i>Pierre Shale</i> .....	44

### **BAB III. METODOLOGI**

3.1. Pendahuluan.....	45
3.2. Langkah – langkah Penelitian.....	45

3.2.1. Pengambilan Sampel di Lapangan.....	47
3.2.2. Tahap Persiapan Benda Uji.....	50
3.2.3. Tahap Pengujian.....	52
3.2.3.1. Pengujian Sifat Fisik <i>Clay Shale</i> .....	52
3.2.3.2. Pengujian Sifat Mekanik <i>Clay Shale</i> .....	52
3.2.3.2.1. Tes <i>Point Load</i> .....	52
3.2.3.2.2. Tes <i>Unconfined compressive Strength</i> (UCS).....	52
3.2.3.3. Pengujian Sifat Dinamik <i>Clay Shale</i> .....	53
3.2.3.4. Pengujian Karakteristik Mineral <i>Clay Shale</i> .....	54
3.2.3.4.1. Tes Difraksi sinar X.....	54
3.2.3.4.2. Tes Mikroskop Pemindai Elektron (SEM).....	55
3.2.3.5. Pengujian Tegangan Air Pori Negatif dengan Metode Kertas Filter.....	55
3.2.4. Pengkondisian Kadar Air dan Pembasahan Pengeringan.....	55

#### **BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1. Batuan Induk Wilayah Studi.....	57
4.2. Karakterisasi Pelapukan.....	59
4.3. Komposisi Kimia dan Jenis Mineral Lempung.....	60
4.3.1. Hasil Pengujian Difraksi sinar X (XRD).....	60
4.3.2. Hasil pengujian <i>Scanning Electron Microscopic</i> (SEM).....	63
4.4. Identifikasi <i>Clay Shale</i> .....	66
4.4.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Kondisi Awal.....	66
4.4.2. Hasil Pengujian Ketahanan / Durabilitas.....	68
4.4.3. Hasil Pengujian Pengembangan ( <i>Swelling Potential</i> ).....	69
4.4.4. Hasil Pengujian Sifat Mekanik Kondisi Awal.....	72
4.4.5. Hasil Pengujian Sifat Dinamik Kondisi Awal.....	74
4.4.6. Sifat Fisik <i>Clay Shale</i> Akibat Perubahan Kadar Air (siklus 1).....	76
4.4.6.1. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ ).....	76
4.4.6.2. Hubungan antara Angka Pori ( $e$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ).....	78

4.4.6.3. Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ).....	78
4.4.6.4. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ).....	78
4.4.6.5. Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Kadar Air ( $\omega_c$ ) .....	79
4.4.7. Sifat Mekanik <i>Clay Shale</i> Akibat Perubahan Kadar Air (siklus 1)..	79
4.4.8. Sifat Dinamik <i>Clay Shale</i> Akibat Perubahan Kadar Air (siklus 1)	82
4.5. Siklus Pembasahan dan Pengeringan <i>Clay Shale</i> .....	83
4.5.1. Pengaruh Siklus Pembasahan dan Pengeringan Terhadap Sifat Fisik.....	83
4.5.2. Pengaruh Siklus Pembasahan dan Pengeringan Terhadap Sifat Mekanik.....	86
4.5.1. Pengaruh Siklus Pembasahan dan Pengeringan Terhadap Sifat Dinamik.....	88
4.5.1. Pengaruh Siklus Pembasahan dan Pengeringan Terhadap Sifat Kimiawi.....	89

## **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan.....	91
5.2. Saran.....	92

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **BIOGRAFI PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram ideal proses pelapukan pada batuan (Sadisun, 2006).....	9
Gambar 2.2	Peta Geologi Kabupaten Tuban.....	12
Gambar 2.3	Statigrafi cekungan jawa Timur Utara (Pringgoprawiro, 1983)....	13
Gambar 2.4	<i>Shale</i> .....	14
Gambar 2.5 (a)	Skematik struktur atom mineral <i>kaolinite</i> .....	15
Gambar 2.5 (b)	Struktur atom <i>kaolinite</i> (Hardiyatmo, 2006).....	15
Gambar 2.6 (a)	Skematik struktur atom mineral <i>montmorillonite</i> .....	16
Gambar 2.6 (b)	Struktur atom <i>montmorillonite</i> (Hardiyatmo, 2006).....	16
Gambar 2.7	Skematik struktur atom mineral <i>illite</i> (Hardiyatmo, 2006).....	17
Gambar 2.8	Hasil <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) beberapa bentuk partikel lempung (Hardiyatmo 2006).....	18
Gambar 2.9	X-Ray Diffractograms dari <i>clay shale</i> (Phipip dan Odukoya, 1986).....	19
Gambar 2.10	Tarik-menarik molekul-molekul air dipolar pada lapisan ganda terdifusi (Das, 1998).....	21
Gambar 2.11	Dimensi peralatan pengujian <i>slake durability</i> (ASTM D4644-04).....	27
Gambar 2.12	Skematis alat <i>point load test</i> pada batuan (Soetojo, 2009).....	30
Gambar 2.13	Bentuk khas kurva pengeringan dan pembasahan (Fredlund dan Rahardjo, 1993).....	37
Gambar 2.14	Grafik kalibrasi suction untuk dua jenis kertas filter (Fredlund dan Raharjo, 1993).....	38
Gambar 2.15	Kondisi geometri difraksi sinar-X menurut hukum Bragg's (Mitchell, 1976).....	39
Gambar 2.16	Mikroskop pemindai elektron (SEM) ( www.wf.com, 2011).....	42
Gambar 2.17	Grafik hubungan nilai UCS terhadap kadar air pada <i>Bringelly Shale</i> (William, 2007).....	43

Gambar 2.18	Grafik hubungan antara index ketahanan batuan dengan derajat pelapukan <i>Bringelly Shale</i> (William, 2007).....	44
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	46
Gambar 3.2	Lokasi penelitian.....	48
Gambar 3.3	Lokasi pengambilan sampel <i>clay shale</i> Tuban.....	48
Gambar 3.4	Posisi pengambilan sampel <i>clay shale</i> .....	49
Gambar 3.5	Pengujian <i>Schmidt Hammer</i> di lokasi.....	49
Gambar 3.6	Proses pembentukan dan penyimpanan benda uji di lapangan.....	50
Gambar 3.7	Proses pembentukan benda uji.....	51
Gambar 3.8	Posisi benda uji dalam proses pengukuran.....	53
Gambar 3.9	Hasil pengukuran rambatan gelombang .....	54
Gambar 3.10	Skema siklus pengeringan dan pembasahan dalam 2x (dua Kali) siklus.....	56
Gambar 4.1	Geologi batuan induk lokasi penelitian Tuban .....	57
Gambar 4.2	Statigrafi regional formasi Tuban (Pringgoprawiro, 1983) .....	58
Gambar 4.3	Hasil pengujian difraksi sinar X <i>clay shale</i> kondisi inisial (A) kedalaman 10 m; (B) kedalaman 12 m; (C) kedalaman 14 m; (D) kedalaman 16 m .....	61
Gambar 4.4	Hasil analisa <i>Scanning Electron Microscopic</i> (SEM) kedalaman 10 m (A) <i>clay shale</i> (pembesaran 1000x); (B) <i>clay shale</i> (pembesaran 15000x).....	63
Gambar 4.5	Hasil <i>Scanning Electron Microscopic</i> (SEM) kondisi inisial (A) <i>clay shale</i> kedalaman 12 m (pembesaran 1000x) ; (B) <i>clay shale</i> kedalaman 12 m (pembesaran 15000x) ; (C) <i>clay shale</i> kedalaman 14 m (pembesaran 1000x) ; (D) <i>clay shale</i> kedalaman 14 m (pembesaran 15000x); (E) <i>clay shale</i> kedalaman 16 m (pembesaran 1000x); (F) <i>clay shale</i> kedalaman 16 m (pembesaran 15000x).....	64
Gambar 4.6	Grafik hubungan parameter fisik <i>clay shale</i> dengan kedalaman.....	68
Gambar 4.7	Hubungan fraksi lempung dengan tingkat keaktifan tanah (Sumber: Nelson dan Miller, 1991) .....	70

Gambar 4.8	Grafik hubungan parameter mekanik (A) <i>Point load</i> indeks; (B) kuat tekan; (C) Kohesi <i>clay shale</i> terhadap kedalaman.....	73
Gambar 4.9	Grafik hubungan parameter dinamik (A) Modulus geser; (B) Kecepatan gelombang geser <i>clay shale</i> terhadap kedalaman.....	75
Gambar 4.10	Pengaruh pembasahan terhadap sifat fisik pada <i>clay shale</i> Tuban kedalaman 14 m. (A) Hubungan antara kadar air dan angka pori, (B) Angka pori terhadap tegangan air pori negatif, (C) Derajat kejenuhan terhadap kadar air, (D) Derajat kejenuhan terhadap tegangan air pori negatif, (E) Kadar air terhadap tegangan air pori negatif .....	77
Gambar 4.11	(A) Pengaruh kadar air terhadap kuat tekan ( $qu$ ), (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan kuat tekan ( $qu$ ) (C) Pengaruh kadar air terhadap modulus elastisitas ( $E$ ), <i>clay shale</i> Tuban pada kedalaman 14 m. ....	80
Gambar 4.12	(A) Pengaruh kadar air terhadap indeks kekuatan beban terpusat ( $I_c$ ), (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan indeks kekuatan beban terpusat ( $I_c$ ) <i>clay shale</i> Tuban pada kedalaman 14 m.....	82
Gambar 4.13	(A) Pengaruh kadar air terhadap indeks modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), (C) Pengaruh kadar air terhadap kecepatan rambatan geser ( $V_s$ ), (D) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan kecepatan rambatan geser ( $V_s$ ) <i>clay shale</i> Tuban pada kedalaman 14 m.....	83
Gambar 4.14	Pengaruh siklus ke-2 terhadap sifat fisik pada <i>clay shale</i> Tuban kedalaman 14 m. (A) Hubungan antara kadar air dan angka pori, (B) Angka pori terhadap teg. air pori negatif, (C) Derajat kejenuhan terhadap kadar air, (D) Derajat kejenuhan terhadap teg. air pori negatif, (E) Kadar air terhadap teg. air pori negatif.....	84



Gambar 4.15 (A) Pengaruh siklus ke-2 terhadap kuat tekan ( $q_u$ ) , (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan kuat tekan ( $q_u$ ), (C) Pengaruh siklus ke-2 terhadap modulus elastisitas ( $E$ ) <i>clay shale</i> Tuban pada kedalaman 14 m. ....	86
Gambar 4.16 (A) Pengaruh siklus ke-2 terhadap indeks modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), (C) Pengaruh kadar air terhadap kecepatan rambatan geser ( $V_s$ ) <i>clay shale</i> Tuban pada kedalaman 14 m. ....	88

## DAFTAR ISTILAH

### **Absorpsi**

Proses penyerapan air pada kapur

### **ASTM**

Singkatan dari American Society of Testing and Materials

### **Batas Konsistensi**

Besaran kadar air (%) untuk menandai kondisi konsistensi tanah yaitu terdiri dari batas cair (*Liquid Limit* / LL), batas plastis (*Plastic Limit* / PL) maupun batas susut (*shrinkage Limit*)

### **Batas Cair**

Besaran kadar air tanah uji (%) dimana dilakukan ketukan sebanyak 25 kali menyebabkan alur tanah pada cawan Cassangrade berimpit 1,25 cm (1/2 inchi)

### **Batas Plastis**

Besaran kadar air tanah sehingga saat dilakukan pilinan pada contoh tanah hingga Ø 3 mm mulai terjadi retakan dan tidak putus

### **Ekspansif**

Tanah atau batuan yang kandungan lempungnya memiliki potensi kembang-susut akibat perubahan kadar air

### **Formasi**

Kelompok batuan yang memiliki ciri tertentu yang diberi nama khusus sebagai unit untuk keperluan pemetaan, penjelasan atau bahan acuan.

### **Litologi**

Sifat atau ciri dari batuan, terdiri dari struktur, warna, komposisi mineral, ukuran butir dan tata letak bahan-bahan pembentuknya. Litologi merupakan dasar penentuan hubungan atau korelasi lapisan-lapisan pada tambang batubara

### **Mineral**

Suatu zat (fasa) padat yang terdiri dari unsur-unsur kimia atau persenyawaan kimia, dibentuk oleh proses-proses anorganik, mempunyai susunan kimia tertentu

dan suatu penempatan atom-atom secara beraturan di dalamnya yang dikenal dengan struktur kristal.

### **Mineralogi**

Suatu cabang ilmu geologi yang mempelajari tentang mineral, baik dalam bentuk individu maupun dalam bentuk kesatuan, diantaranya mempelajari tentang sifat – sifat fisik, cara terjadinya, cara terbentuknya, sifat-sifat kimia, dan juga kegunaannya

### **Modulus elastisitas**

Rasio tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut.

### **Peta geologi**

Bentuk ungkapan data dan informasi geologi suatu daerah / wilayah / kawasan dengan tingkat kualitas yang tergantung pada skala peta yang digunakan dan menggambarkan informasi sebaran, jenis dan sifat batuan,

### **Plastisitas**

Perbedaan batas cair dan batas plastis suatu tanah

### **Stratigrafi**

Ilmu yang mempelajari tentang perlapisan batuan atau susunan batuan-batuan.

Ilmu ini adalah salah satu cabang dari geologi yang berhubungan dengan definisi dan uraian batuan sediment khususnya, berkaitan dengan singkapan batuan atau batuan dibawah permukaan

### **Tegangan**

Intensitas gaya per satuan luas

## DAFTAR SIMBOL

AEP	Air entry point
$c$	Kohesi
$c_u$	Kohesi undrained
$d$	Jarak antar layer
$e$	Angka pori
$E$	Modulus Elastisitas
$G_{maks}$	Modulus geser maksimum pada regangan geser kecil
$G_s$	Berat Spesifik
$h_c$	Tinggi muka di dalam bejana
$I_d (2)$	Indeks ketahanan batuan (siklus/putaran kedua)
$I_s$	Indeks kekuatan batuan
$IP$	Indeks Plastisitas
$L$	Panjang benda uji
$LL$	Batas Cair
$n$	porositas
$N_{SPT}$	Nilai SPT tanah
$PL$	Batas Plastis
$q_u$	Kuat tekan (UCS)
SEM	Scanning Electron Microscope
$S_r$	Derajat kejenuhan tanah
$T_s$	Tegangan permukaan
$t$	Waktu tempuh gelombang
$u$	Tegangan air pori
$-U_w$	Tegangan air pori negatif
$V_p$	Kecepatan rambat gelombang primer
$V_s$	Kecepatan rambat gelombang sekunder
XRD	X-Ray Diffractometer
$\varepsilon_a$	Regangan vertikal

$\gamma_t$	Berat volume tanah
$\gamma_w$	Berat volume air
$\sigma$	Tegangan total
$\sigma'$	Tegangan efektif butiran tanah
$\sigma'_v$	Tegangan vertikal efektif
$\varphi$	Sudut geser dalam
$\rho$	Kerapatan masa tanah
$\mu$	Rasio Poisson
$\theta$	Sudut difraksi sejajar terhadap atomic plastic

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skema Klasifikasi Derajat Pelapukan Batuan .....	10
Tabel 2.2	Komposisi Mineral Rata-rata dari Fraksi Lempung untuk Derajat Pelapukan yang berbeda pada <i>Bringgelly Shale</i> .....	19
Tabel 2.3	Nilai Tipikal dari Batas Cair, Batas Plastis, dan Aktivitas dari Beberapa Mineral Lempung.....	20
Tabel 2.4	Rentang Kapasitas Pertukaran Ion dari Macam-Macam Mineral Lempung.....	21
Tabel 2.5	Klasifikasi <i>Compacted Shales, Cemented Shales</i> .....	22
Tabel 2.6	Beberapa Harga Densitas Kering Batuan .....	26
Tabel 2.7	Klasifikasi Durabilitas dari Gamble.....	28
Tabel 2.8	Nilai UCS ( $q_u$ ) dengan Tegangan Tarik Tidak Langsung ( $\frac{q_u}{T_0}$ ).....	29
Tabel 2.9	Harga <i>Point Load Index</i> Beberapa Batuan.....	31
Tabel 2.10	Kecepatan Gelombang Longitudinal dan Kecepatan Gelombang Geser Rata-Rata pada Beberapa Batuan.....	34
Tabel 2.11	Klasifikasi Potensi Pengembangan oleh Holtz dan Gibbs.....	34
Tabel 2.12	Klasifikasi Potensi Pengembangan oleh Chen.....	35
Tabel 2.13	Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Uji Pengembangan Tanah Tidak Terganggu pada Tekanan <i>Overburden In Situ</i> .....	36
Tabel 2.14	Data Hasil Diffraksi Sinar X untuk Beberapa Jenis Lempung.....	41
Tabel 2.15	Hasil Perhitungan Parameter Kekuatan Geser Pada Saat Longsor .....	43
Tabel 2.16	Sudut Geser Residual <i>Pierre Shale</i> terhadap Siklus Pengeringan Pembasahan (schaefer, 2013).....	44
Tabel 4.1	Model Klasifikasi Derajat Pelapukan <i>Clay Shale</i> .....	59
Tabel 4.2	Hasil Analisis Pengukuran <i>Schmidt Hammer Clay Shale</i> .....	60
Tabel 4.3	Jenis Komposisi Kimia <i>Clay Shale</i> yang Diteliti.....	63
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kandungan Kimia <i>Clay Shale</i> Tuban.....	66
Tabel 4.5	Hasil Uji Sifat Fisik <i>Clay Shale</i> .....	67

Tabel 4.6	Hasil Pengujian Durabilitas <i>Clay Shale</i> .....	69
Tabel 4.7	Hasil Pengujian <i>Swelling Potential Clay Shale</i> dan Klasifikasi Pengembangannya.....	71
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Sifat Mekanik <i>Clay Shale</i> .....	72
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Sifat Dinamik <i>Clay Shale</i> .....	74
Tabel 4.10	Pengaruh Siklus Pembasahan dan Pengeringan terhadap Komposisi Kimia <i>Clay Shale</i> .....	90

## **BIOGRAFI PENULIS**



Nama Lengkap	: Rizka Adi Ariesnawan
Nama Panggilan	: Rizka
Tempat & Tanggal Lahir	: Mataram, 9 April 1988
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Kewarganegaraan	: Indonesia
Agama	: Islam
Hobi	: Berenang dan traveling
Moto hidup	: Kerja keras, berdoa dan bersyukur
Status	: Sudah menikah
Alamat Rumah	: Jl. Sapta Pesona no. 18 Pagutan Permai. Mataram
No Telp	: (0370) 645536
No HP	: 08175758841
Email	: rizka.adi99@gmail.com

## **PENDIDIKAN FORMAL**

SDN 45 Mataram	( Lulus Tahun 2000 )
SMP Negeri 2 Mataram	( Lulus Tahun 2003 )
SMU Negeri 2 Mataram	( Lulus Tahun 2006 )
S-1 Teknik Sipil UNRAM Mataram	( Lulus Tahun 2011 )
S-2 Teknik Sipil Geoteknik ITS Surabaya	( Lulus Tahun 2015 )



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Klasifikasi dan sifat-sifat indeks dari batuan dan tanah sangat dibutuhkan dalam merencanakan konstruksi bangunan. Parameter fisik dan mekanik digunakan untuk mengetahui seberapa jauh batuan dan tanah tersebut berperilaku dalam menerima beban konstruksi di atasnya. Adanya air dan pelapukan pada massa dan material batuan akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik dan dinamisnya (Soetojo, 2009).

Kabupaten Tuban ditinjau dari letak geografisnya, terlihat bahwa wilayah ini dekat dengan pesisir pantai dan pegunungan. Daerah Tuban khususnya di Kecamatan Kerek termasuk dalam formasi Tuban yang memiliki susunan batuan berlapis *clay shale*. Banyak permasalahan terjadi pada konstruksi sipil di atas lapisan *clay shale*. Proyek pembangunan gedung dan jalan mengalami keruntuhan saat pekerjaan berlangsung dan bahkan beberapa waktu setelah pembangunan selesai. Beberapa diantaranya adalah kelongsoran pada timbunan jalan Jalan Tol Cipularang di km 97+500 yang menghubungkan Jakarta dan Bandung pada tahun 2006. Kemudian pada tahun 2010, kasus kelongsoran juga terjadi pada proyek pembangunan kompleks gedung olahraga hambalang di desa Citeurep Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Hal ini diakibatkan oleh investigasi tanah awal pada kekuatan *clay shale* yang kurang tepat. Parameter yang dipakai dalam perencanaan tidak memperhitungkan perubahan karakteristik akibat penggalian lereng dan pelapukan yang terjadi pada *clay shale* seiring dengan waktu (Irsyam, 2007).

*Shale* merupakan salah satu material geologi yang paling kompleks dan bermasalah. *Shale* memiliki rentang variasi sifat teknis yang luas terutama dalam kecenderungan untuk melemah dalam waktu yang relatif singkat. Belviso (1977) dalam penelitiannya menyatakan bahwa hasil pengujian *slake durability* pada *shale* menunjukkan indeks yang sangat rendah. Karakteristik *shale* belum dapat

diidentifikasi berdasarkan parameter inisial awal, melainkan besarnya potensi penurunan parameter mekanis yang signifikan setelah mengalami interaksi dengan air. *Shale* merupakan batuan sedimen berbutir halus yang terbentuk dari pemadatan lanau (*silt*) dan mineral ukuran-lempung (*clay-size mineral*). Pengujian *x-ray diffraction* pada *shale* menunjukkan kandungan *montmorillonite* diidentifikasi sebagai mineral lempung dominan dengan sejumlah kecil *illite*, *kaolinite*, *quartz* dan *albite* (Phipip and Odukoya, 1986).

Karakteristik *shale* yang umumnya terdiri dari lapisan tipis, berlapis dengan fraksi yang tidak beraturan, sangat licin, dan mudah dipisahkan sepanjang bidang lapisan. Irsyam (2006), mengatakan bahwa kelongsoran pada timbunan jalan Tol Cipularang, Jawa Barat disebabkan oleh kecilnya kekuatan geser pada lapisan *clay shale* dibawahnya. Perhitungan ulang parameter kekuatan geser pada saat kondisi runtuh diperoleh nilai kohesi ( $c$ ) sebesar 5 kPa dan sudut geser ( $\phi$ ) sebesar  $13^\circ$ . Penggalan lereng yang dilakukan mengakibatkan penurunan kekuatan geser *clay shale* yang sangat signifikan disebabkan karena degradasi *clay shale* akibat terekpose ke udara atau mengalami kontak dengan air.

Siklus pembasahan pengeringan dilakukan oleh Schaefer pada *shale* yang memiliki kandungan lempung sebesar 48 % diketahui bahwa nilai sudut geser dalam residual mengalami penurunan yang cukup signifikan dari kondisi inisial dari sebesar  $11,9^\circ$  menjadi hanya  $5,2^\circ$ . Selain itu, William (2007) dalam penelitiannya pada *Bringelly Shale* menunjukkan bahwa semakin tinggi derajat pelapukan dan kadar air maka besar nilai UCS dan Indeks ketahanan batuan ( $I_d$ ) semakin menurun.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar dan waktu perubahan karakteristik *clay shale* akan dianalisis secara keseluruhan. Penelitian pada tesis ini meliputi uji karakteristik fisis, mekanis, dan dinamis terhadap variasi kadar air pada *clay shale*. Analisa kandungan kimia juga dilakukan pada semua batuan di lokasi studi. Hasil analisa kimia ini digunakan sebagai gambaran awal karakteristik *clay shale*. Semua hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan karakteristik *clay shale* khususnya pada formasi batuan di daerah Kabupaten Tuban. Hubungan antar parameter lapangan dan laboratorium diharapkan juga

dapat membantu para perencana dalam memperkirakan parameter tanah (*practical engineering design*) secara praktis dan teliti untuk konstruksi pada lapisan *clay shale*. Pada akhirnya, dengan pemahaman yang lebih baik pada karakteristik *clay shale* maka perencanaan bangunan-bangunan pada lapisan *clay shale* dapat dilakukan dengan lebih baik.

## **1.2 Perumusan dan Batasan Masalah**

### **1.2.1 Perumusan Masalah**

Permasalahan di dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik mineralogi *clay shale* Kabupaten Tuban,
2. Bagaimana pengaruh perubahan kadar air terhadap parameter sifat fisik dan tegangan air pori negatif *clay shale* pada kondisi kadar air awal (*initial*) lapangan,
3. Bagaimana pengaruh perubahan kadar air *clay shale* terhadap parameter sifat mekanis pada kondisi kadar air awal (*initial*) lapangan,
4. Bagaimana pengaruh perubahan kadar air *clay shale* terhadap parameter sifat dinamis pada kondisi kadar air awal (*initial*) lapangan.

### **1.2.2 Batasan Masalah**

Pembahasan dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Percobaan ini adalah percobaan laboratorium dimana benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah *clay shale* yang diambil di area penambangan PT Semen Indonesia, Desa Meliwang, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban yang termasuk dalam kelompok formasi Tuban,
2. Sampel *clay shale* diambil pada sisi tepi galian atau pada dinding-dinding galian lereng tiap elevasi kedalaman lereng. Kedalaman galian lereng yang diambil mulai dari kedalaman 10 m sampai dengan kedalaman lereng 16 m dengan dimensi batuan berupa bongkahan,
3. Benda uji dikondisikan kadar airnya dengan proses pengeringan dan pembasahan. Proses pembasahan dilakukan dengan menambah kadar

air benda uji dengan menggunakan pipet mulai dari kondisi inisial ( $w_i$ ), sebesar 20% dari kondisi jenuh. Proses pengeringan dilakukan dengan mengurangi kadar air benda uji secara bertahap hingga mencapai kondisi kering lapangan,

4. Penambahan air pada saat pengkondisian benda uji dipakai berdasarkan hasil perhitungan teoritis berat air dari kondisi inisial,
5. Siklus pembasahan dan pengeringan dilakukan dengan 2 siklus,
6. Pengujian pengebangan (*swelling potential*) dilakukan dengan alat konsolidometer dengan penerapan tegangan overburden perkiraan di lapangan,
7. Parameter dinamik diperoleh dengan menggunakan alat Elemen Bender di laboratorium struktur, Jurusan FTSP, ITS, Surabaya. Benda uji untuk Tes Elemen Bender berbentuk silinder, berdiameter  $\pm 3,8$  cm dan tinggi  $\pm 3,0$  cm.

### 1.3 Tujuan

Dari hasil perumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui karakteristik mineralogi *clay shale*,
2. Untuk mengetahui pengaruh pembasahan dan pengeringan terhadap parameter sifat fisik dan tegangan air pori negatif *clay shale* pada kondisi kadar air awal (*initial*) lapangan,
3. Untuk mengetahui pengaruh pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan sifat mekanis *clay shale* pada kondisi kadar air awal (*initial*) lapangan,
4. Untuk mengetahui pengaruh pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan sifat dinamis *clay shale* pada kondisi kadar air awal (*initial*) lapangan.

#### **1.4 Manfaat**

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan pengetahuan dan pemahaman yang komprehensif terhadap karakteristik statik dan dinamik *clay shale*. Hal ini akan sangat bermanfaat untuk dapat diaplikasikan dalam melakukan *monitoring* dan evaluasi parameter tanah dan batuan yang selama ini dilaksanakan pada area tanah berlapis *clay shale*.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Batuan

Batuan adalah suatu material alam yang terbentuk melalui proses alamiah. Dari sudut geologi, yang disebut dengan batuan adalah semua susunan mineral dan bahan organis yang bersatu membentuk kerak bumi. Sedangkan dari segi geoteknik, batuan adalah suatu formasi material yang keras dan solid dari kerak bumi dan memiliki kekuatan hancur dengan tes kuat tekan (*unconfined test*) lebih besar dari 1 Mpa (Soetojo, 2009).

#### 2.2. Klasifikasi Batuan

Klasifikasi batuan berdasarkan proses dan sifat geologis umumnya dibagi menjadi tiga kelompok utama yaitu: batuan beku (*igneous rock*), batuan metamorf (*metamorphic rocks*), dan batuan sedimen (*sedimentary rocks*). Berdasarkan tekstur dan butirannya, batuan juga dapat dibagi menjadi empat kelompok batuan, antara lain:

##### 1) Batuan Kristalin (*Crystalline Rocks*)

Batuan kristalin merupakan batuan yang terbentuk dari kristal-kristal mineral silika atau mineral karbonat yang terikat kuat dengan sulfat dan garam-garam lain.

Contoh : *Limestone, dolomit, Mica schist, Granit, Basalt, dan Serpentinite.*

##### 2) Batuan Klastik (*Clastic Rocks*)

Batuan Klastik merupakan batuan yang memiliki campuran komposisi dari berbagai macam mineral. Sifat-sifat fisiknya sangat dipengaruhi oleh kekuatan sementasi atau ikatan antar butir-butirnya.

Contoh : *Silica-cemented sandstones, tuff, dan clay-bond sandstones.*

### 3) Batuan Berbutir Sangat Halus (*Very Fine Grained Rocks*)

Merupakan batuan yang memiliki butir-butir halus yang pada umumnya didapat dari lanau (*silt*) atau lempung (*clay*) yang mengeras.

Contoh: *compacted shales, cemented shales, slate, marl, flagstones*. *Cemented Shales* memiliki ikatan yang sangat kokoh dan kuat. Sedangkan *shales* yang terpadat (*compacted shales*) atau pada batuan lumpur (*mudstones*) tidak memiliki ikatan partikel yang kuat sehingga sering disebut sebagai tanah yang keras bukan termasuk batuan. Selain itu *shales* juga masih memiliki sifat kembang susut yang besar.

### 4) Batuan Organik (*Organic Rocks*)

Merupakan batuan yang memiliki kondisi *viscous*, plastis, maupun elastis.

Contoh : *Soft coal, hard coal, oil shale, tar sand*.

(Soetojo, 2009).

## 2.3. Pelapukan Batuan

Pelapukan adalah proses perubahan pada batuan di atau dekat permukaan bumi oleh dekomposisi kimia dan disintegrasi fisik. Diagram ideal proses pelapukan pada batuan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Dalam pelapukan, proses perubahan batuan secara umum dicapai melalui dua proses utama, yaitu:

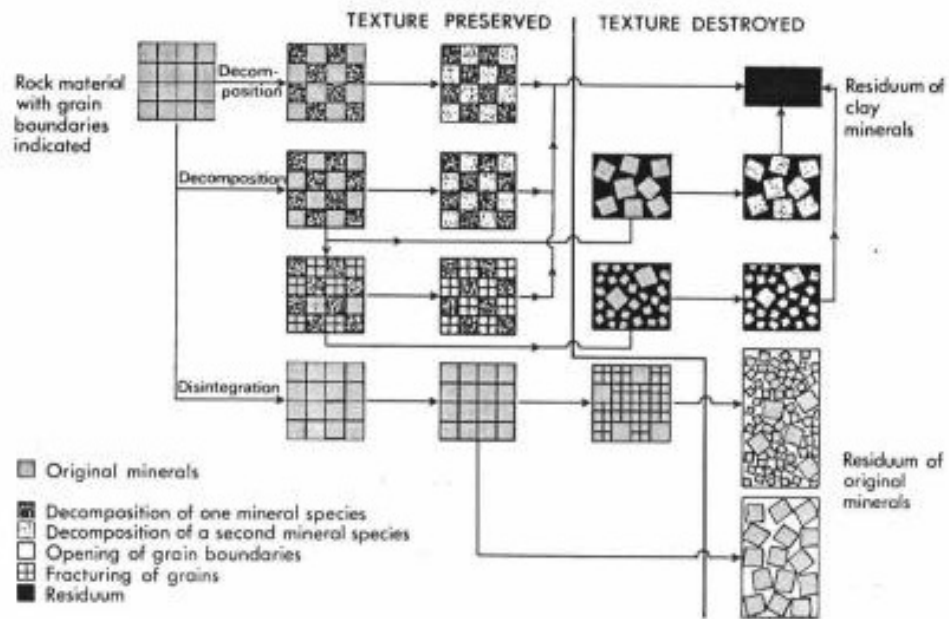
- Pelapukan Fisik atau mekanik

Pelapukan fisik melibatkan disintegrasi fisik-mekanik pada partikel-partikel batuan, umumnya ditandai pula dengan hancurnya struktur (*fabric*) batuan, dan lebih lanjut akan menghasilkan pola kemas baru.

- Pelapukan Kimia

Pelapukan kimia melibatkan proses dekomposisi batuan di mana akan terjadi ubahan kimia mineral-mineral induk (*parent minerals*) penyusun batuan membentuk mineral-mineral sekunder (*secondary minerals*), umumnya ditandai dengan perubahan warna pada batuan.





Gambar 2.1 Diagram ideal proses pelapukan pada batuan (Sadisun, 2006).

Penerapan sistem identifikasi derajat pelapukan pada batulempung juga didasarkan atas hadirnya beberapa efek perubahan pada batuan tersebut, meliputi perubahan warna batuan, perubahan intensitas rekahan (*fracture intensity*), serta perubahan tekstur dan struktur batuan. Secara umum, hasil observasi terhadap perkembangan derajat pelapukan batu andirangkum Irfan dan Dearman pada Tabel 2.1. Uraian tersebut dibuat dengan mempertimbangkan syarat-syarat umum klasifikasi massa batuan dalam kaitannya dengan proses pelapukan antara lain:

- Cepat dan mudah, termasuk dalam proses preparasi contoh batuannya,
- Memiliki keterkaitan dengan sifat-sifat fisik massa dan material batuannya,
- Memungkinkan untuk membedakan sifat-sifat keteknikan atas dasar indeks pengujian yang sederhana,
- Memiliki keterkaitan dengan masalah rekayasa pada batuan.

Tabel 2.1 Skema Klasifikasi Derajat Pelapukan Batuan

<b>Istilah</b>	<b>Derajat Pelapukan</b>	<b>Singkatan</b>	<b>Ciri Utama</b>
Batuan Segar ( <i>Fresh Rock</i> )	I	FR	Tidak berkurang kekuatannya dan perubahan warna sedikit terlihat pada permukaan massa batuan yang rusak atau pada butirannya
Lapuk Ringan ( <i>Slightly Weathered</i> )	II	SW	Massa batuan sedikit lebih lunak daripada batuan segar. Perubahan warna terjadi pada batuan yang rusak atau pada bagian yang sedikit terbuka/pecah.
Lapuk Sedang ( <i>Moderately Weathered</i> )	III	MW	Massa batuan sangat lebih lunak daripada batuan yang segar dan sebagian batuan berubah ke arah tanah. Material batuan mengalami perubahan warna dan rusak serta permukaan butiran telah mengalami perubahan warna yang jauh lebih kontras, hingga mencapai bagian yang lebih dalam.
Lapuk Tinggi ( <i>Highly Weathered</i> )	IV	HW	Kekuatan massa batuan asal banyak berkurang. Material berubah warna dan lebih dari setengah material telah berubah menjadi tanah oleh dekomposisi kimia atau disintegrasi fisik.
Lapuk Sempurna ( <i>Completely Weathered</i> )	V	CW	Kekuatan batuan asal hilang dan massa batuan berubah menjadi tanah oleh dekomposisi kimia atau disintegrasi fisik.
Tanah Residu ( <i>Residual Soil</i> )	VI	RS	Batuan seluruhnya berubah menjadi tanah di mana kemas batuan asal telah rusak. Hasil pelapukan seperti ini dibahas sebagai tanah dalam istilah pedologi.

Sumber: Irfan dan Dearman, 1978

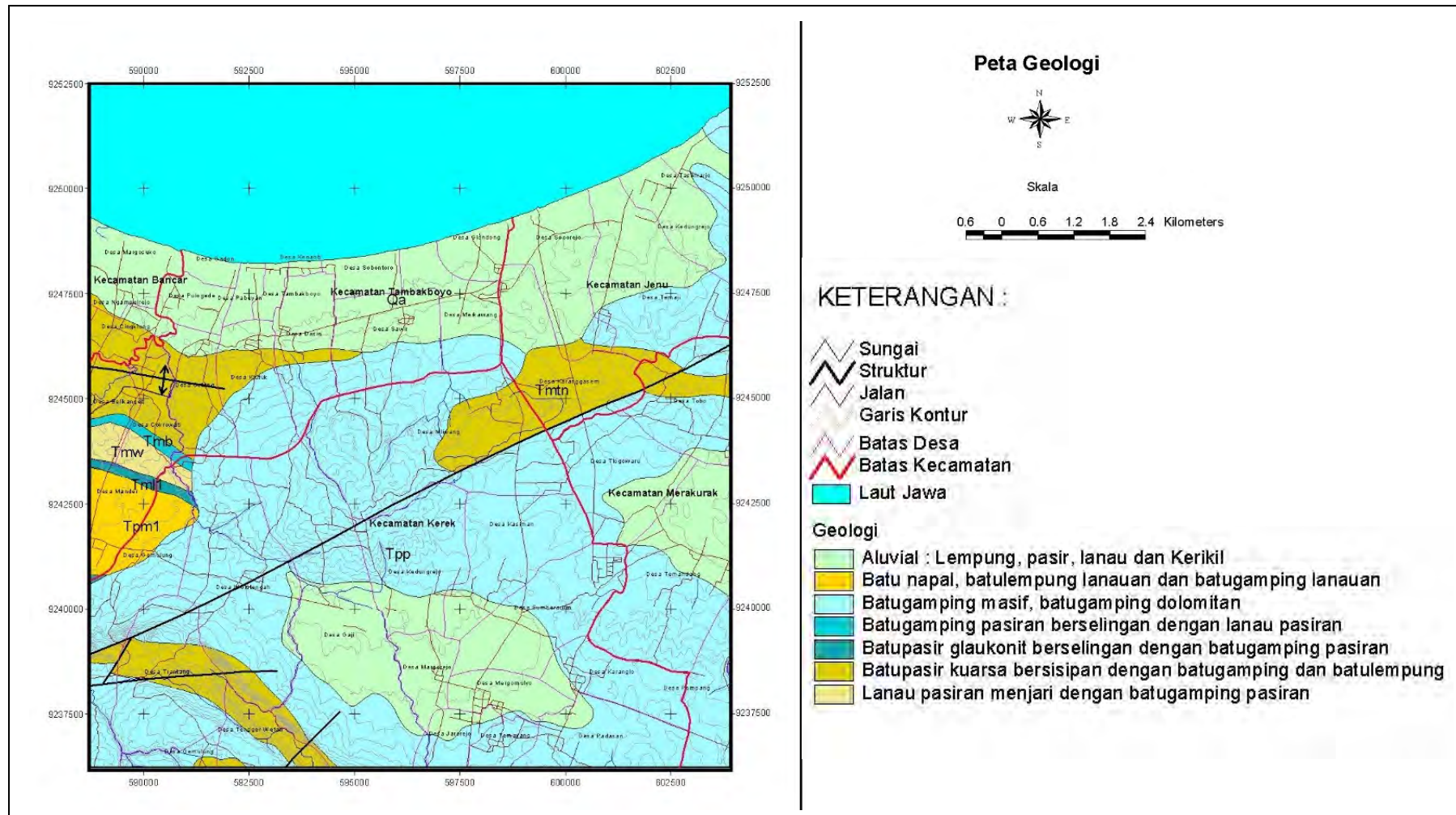
Klasifikasi keteknikan batuan lapuk juga digunakan untuk mengetahui adanya urutan perubahan akibat adanya proses pelapukan fisik dan kimia yang berperan dalam individu atau kombinasinya beserta sifat-sifat keteknikan pada masing-masing derajat pelapukannya. Dalam pengujian *in situ*, tingkat pelapukan batuan dapat diperoleh melalui peralatan *Hand Penetrometer*, *Point Load*, dan *Schmidt Hammer* (Irfan dan Dearman, 1978).

#### 2.4. Geologi dan Statigrafi Kabupaten Tuban

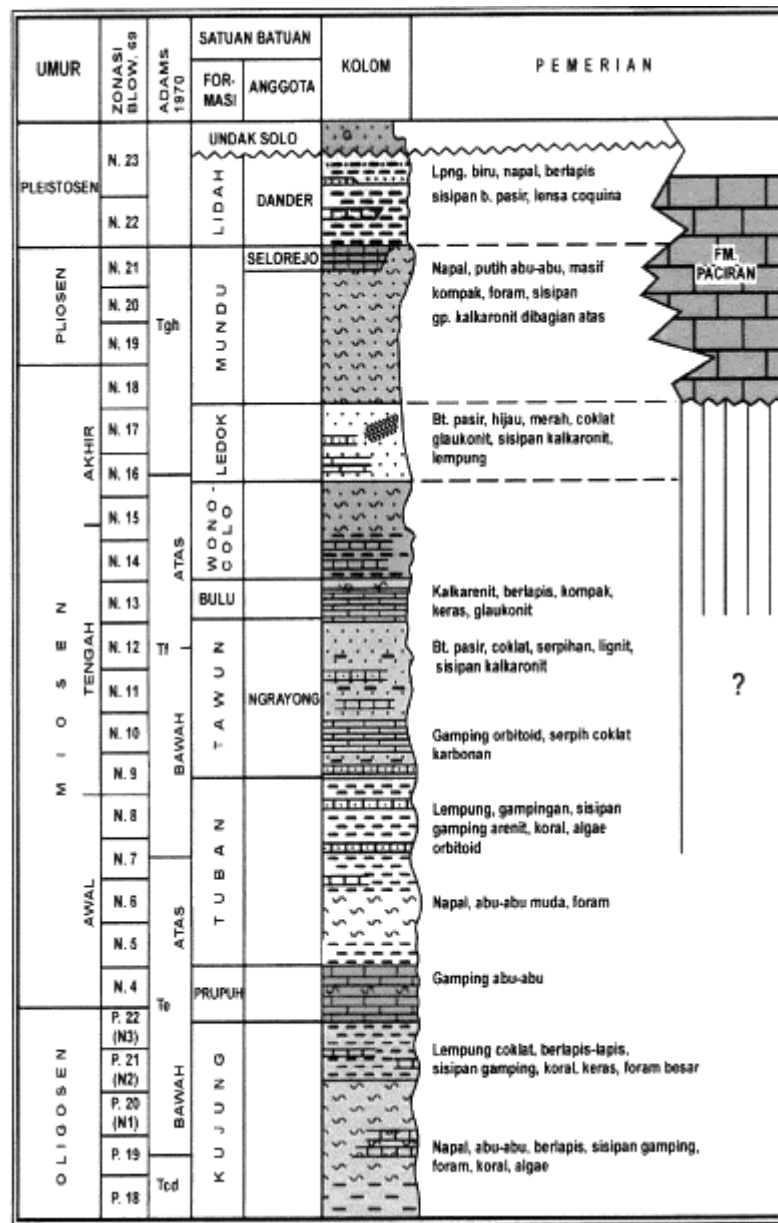
Secara regional, stratigrafi pada daerah cekungan Jawa Timur Utara tersusun atas sepuluh formasi, yaitu formasi Kujung, Prupuh, Tuban (Tmtn), Tawun (Tmt), Ngrayong, Bulu (Tmb), Wonocolo, Ledok (Tml), Mundu (Tpm) dan Lidah (Pringgoprawiro, 1983). Wilayah Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban didominasi oleh formasi Paciran (Tpp) dan sebagian formasi Tuban (Tmtn) dan aluvium (Qa) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Formasi Tuban (Tmtn) litologi penyusunnya berupa batulempung, batulempung karbonatan, batulempung pasir, batupasir karbonatan, sisipan batugamping pasir, sisipan batupasir kuarsa dan batulanau. Lingkungan pengendapan Formasi Tuban adalah lingkungan batial yang kedalamannya mencapai 2000 m. Formasi Tuban ini berpotensi memiliki batu lempung yang bersifat mengembang (Aditya, 2013).

Formasi Tuban tersusun atas napal pasir berwarna putih abu-abu, semakin ke atas berubah menjadi endapan batulempung biru kehijauan dengan sisipan batugamping berwarna abu-abu kecoklatan yang kaya akan *foraminifera orbitoid*, koral dan *algae*. Semakin ke atas lagi berubah menjadi batugamping pasir berwarna putih kekuningan hingga coklat kekuningan. Pada formasi ini dijumpai *Clycloclypeus*, *Myogypsina*, *Lepidocyclina*. Dari kolom statigrafi pada Gambar 2.3 dapat diketahui umur dari Formasi Tuban adalah Miosen Awal bagian tengah atau Zonasi Blow N5 – N6 (Pringgoprawiro, 1983).



Gambar 2.2 Peta Geologi Kabupaten Tuban.



Gambar 2.3 Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara (Pringgoprawiro, 1983).

## 2.5. Clay Shale

### 2.5.1. Struktur dan Komposisi Clay Shale

*Shale* adalah batuan sedimen berbutir halus yang terbentuk dari pemadatan lanau (*silt*) dan mineral ukuran-lempung (*clay-size mineral*). *Shale* masuk kategori batuan endapan sebagai batu-lempung (*claystones*). *Shale* umumnya terdiri dari lapisan tipis berlapis dengan fraksi yang tidak beraturan, sangat licin, dan mudah dipisahkan sepanjang bidang lapisan seperti pada Gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 *Shale*.

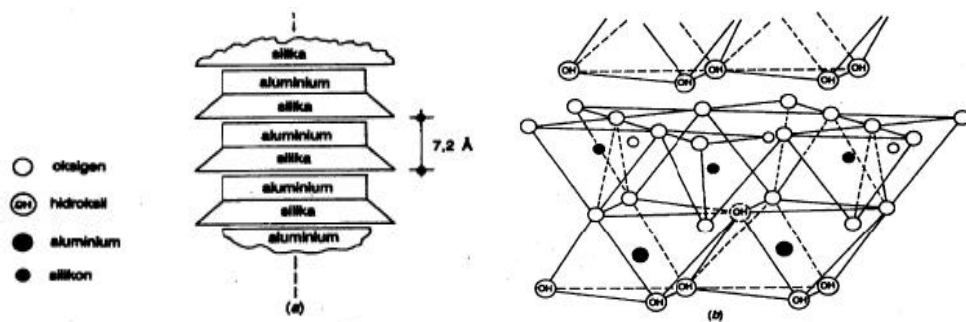
*Clay shale* dapat ditemukan di danau dan deposit lagon, delta sungai, dataran banjir dan pantai. Perilaku utama *shales* sangat sulit diidentifikasi akan tetapi setelah terkena sinar matahari, udara, dan air dalam waktu yang relatif singkat, maka *shale* akan menjadi tanah lempung yang lunak seperti lumpur (Irsyam, 2007).

### 2.5.2. Komposisi Mineral *Clay Shale*

*Clay shale* terbentuk dari mineral lempung (*clay-size mineral*) dan beberapa mineral bukan lempung (*non clay mineral*). Mineral bukan lempung yang banyak ditemui adalah *quartz*, *feldspar* dan sebagian kecil *mica*. Sedangkan mineral lempung berdasarkan struktur kristal dan lapisan pembentuk layer diklasifikasikan menjadi kelompok : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, *Vermiculite* dan *Chlorite* (Mitchel, 1976).

#### 1. *Kaolinite*

*Kaolinite* merupakan mineral dari kelompok *kaolin*, terdiri dari susunan satu lembar silika tetrahedra dengan satu lembar aluminium oktahedra, dengan satuan susunan setebal  $7,2 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ Angstrom (\AA)} = 10^{-10} \text{ m}$ ) (Gambar 2.5a). Kedua lembaran terikat bersama-sama, sedemikian rupa sehingga ujung dari lembaran silika dan satu lapisan lembaran oktahedra membentuk sebuah lapisan tunggal.



Gambar 2.5(a) Skematik struktur atom *kaolinite*,  
(b) Struktur atom *kaolinite* (Hardiyatmo, 2006).

Dalam kombinasi lembaran silika dan aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen (Gambar 2.5b). Pada keadaan tertentu, partikel *kaolinite* mungkin lebih dari seratus tumpukan yang sukar dipisahkan. Oleh karena itu, mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk diantara lempengan (air dapat menimbulkan kembang-susut pada sel satuannya).

## 2. *Halloysite*

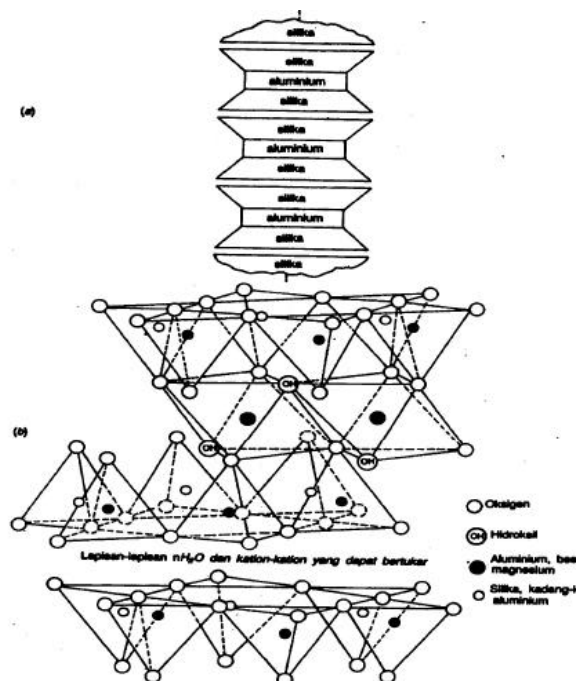
*Halloysite* hampir sama dengan *kaolinite*, tetapi kesatuan yang berurutan lebih acak ikatannya dan dapat dipisahkan oleh lapisan tunggal molekul air. Jika lapisan tunggal air menghilang oleh karena proses penguapan, mineral ini akan berkelakuan lain. Maka, sifat tanah berbutir halus yang mengandung *halloysite* akan berubah secara tajam jika tanah dipanasi sampai menghilangkan lapisan tunggal molekul airnya. Sifat khusus lain adalah bentuk partikelnya menyerupai silinder-silinder memanjang, tidak seperti *kaolinite* yang berbentuk pelat-pelat.

## 3. *Montmorillonite*

*Montmorillonite* disebut juga *smectite* adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembar silika dan satu lembar aluminium (*gibbsite*) dan mempunyai ketebalan 9,6 Å, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Lembaran oktahedra terletak diantara dua lembaran silika dengan ujung tetrahedra tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu lapisan aluminium oleh magnesium. Karena adanya gaya ikatan *Van der Waals* (ikatan sehubungan dengan berubah-ubahnya jumlah elektron pada setiap saat di salah satu bagian dari inti atom) yang

lemah diantara ujung lembaran silika dan terdapat kekurangan muatan negatif dalam lembaran oktahedra, sehingga air ( $H_2O$ ) dan ion-ion yang berpindah-pindah dapat masuk dan memisahkan lapisannya, akibatnya terjadi sifat kembang susut yang tinggi.

Kristal *montmorillonite* sangat kecil, tetapi pada waktu tertentu mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap air. Tanah dan batuan yang mengandung *montmorillonite* sangat mudah mengembang oleh penambahan kadar air. Tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

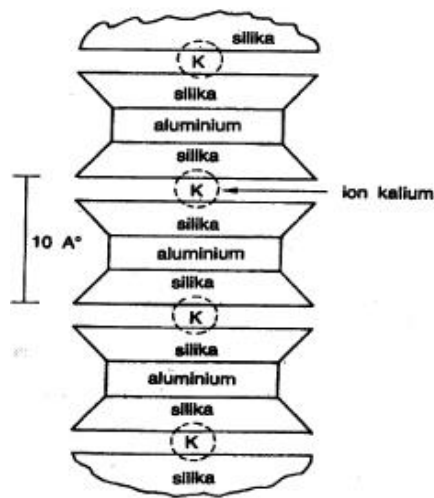


Gambar 2.6(a) Skematik struktur atom *montmorillonite*,  
(b) Struktur atom *montmorillonite* (Hardiyatmo, 2006).

#### 4. Illite

*Illite* adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok *illite*. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terkait diantara dua lembaran silika tetrahedra. Dalam lembaran oktahedra, terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedra terdapat pula substitusi silikon oleh aluminium (Gambar 2.7).

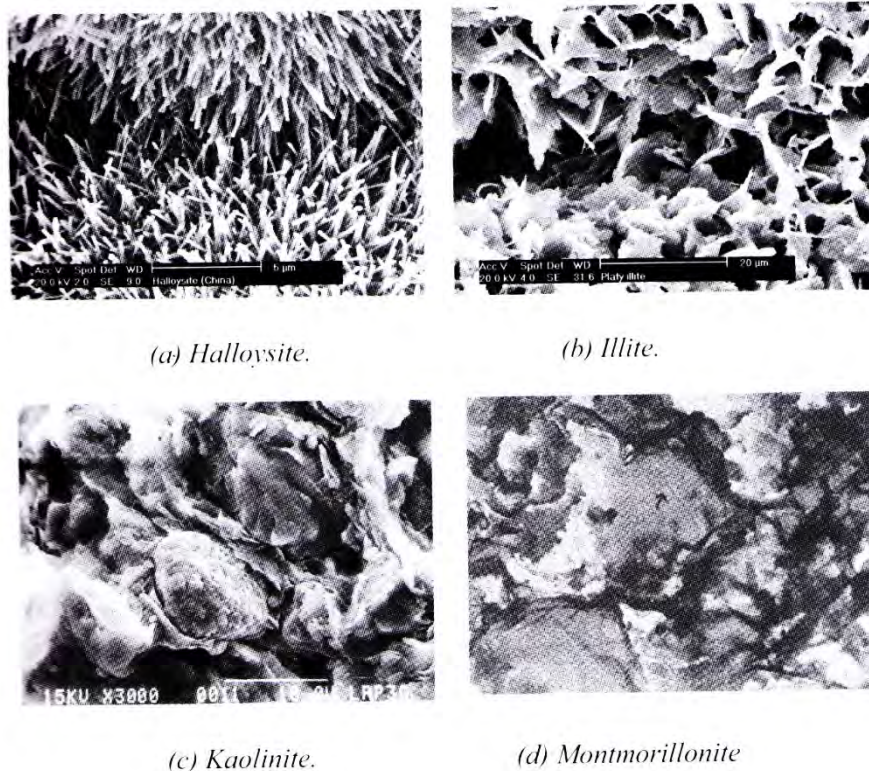




Gambar 2.7 Skematik struktur atom mineral *illite* (Hardiyatmo, 2006).

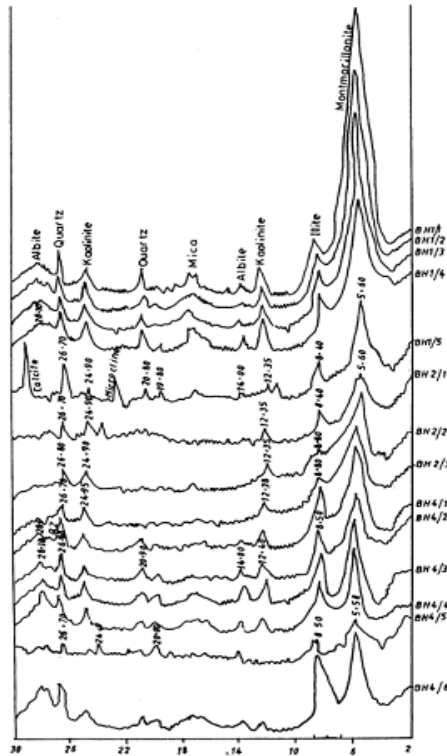
Lembaran-lembaran terikat bersama-sama oleh ikatan lemah ion-ion kalium yang terdapat di antara lembaran-lembarannya. Ikatan-ikatan dengan ion kalium ( $K^+$ ) lebih lemah daripada ikatan hidrogen yang mengikat satuan kristal *kaolinite*, tapi sangat lebih kuat daripada ikatan ionik yang membentuk kristal *montmorillonite*. Susunan *illite* tidak mudah mengembang oleh air diantara lembaran-lembarannya.

Ikatan –ikatan dengan ion Kalium ( $K^+$ ) lebih lemah daripada ikatan hidrogen yang mengikat satuan kristal *kaolinite*, tetapi jauh lebih kuat daripada ikatan ionik yang membentuk kristal *montmorillonite*. Susunan *illite* tidak mudah mengembang oleh air di antara lembaran-lembarannya. Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) mineral *halloysite*, *illite*, *kaolinite* dan *smectite* ditunjukkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hasil *Scanning Electron Microscope*(SEM) beberapa bentuk partikel lempung (Hardiyatmo,2006).

Hasil *X-ray diffraction* test (XRD) juga dapat digunakan untuk mengetahui mineralogi dari fraksi lempung (butiran kurang dari 2  $\mu\text{m}$ ) dari *clayshale*. Contoh hasil *X-ray diffractometer clay shale* Nigeria ditunjukkan pada Gambar 2.9. Analisis mineral lempung dari *clayshale* pada daerah sedimentasi Nigeria Timur menunjukkan bahwa daerah tersebut terbentuk oleh lapisan *shale* yang mengandung proporsi mineral *montmorillonite*, *illite* dan campuran *illite-montmorillonite*. Kandungan *montmorillonite* diidentifikasi sebagai mineral lempung dominan (75%) dengan sejumlah kecil *illite*, *kaolinite*, *quartz* dan *albite*. Dominasi *montmorillonite* pada *clayshale* dari Formasi batuan Imo di Ibese menunjukkan bahwa endapan *clayshale* terbentuk dari endapan dekat laut (Phipip and Odukoya, 1986).



Gambar 2.9 X-Ray Diffractograms dari *clayshale*(Phipip and Odukoya, 1986).

Pengujian *x-ray diffraction* pada *Lorraine Basin Collieryshale* juga menunjukkan komposisi mineral lempung cukup tinggi, yaitu terdiri dari 70% mineral lempung dimana tersusun atas 40% *illite*, 20% *chlorite* dan 10% *kaolinite*, kemudian sisanya tersusun atas *quartz* dan *feldspar*(Wakim, 2007). Dalam penelitiannya, kandungan mineral lempung pada *Bringelly shale* juga diidentifikasi oleh William berdasarkan tingkat pelapukan yang terjadi seperti pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2Komposisi Mineral Rata-Rata dari Fraksi Lempung untuk Derajat Pelapukan yang berbeda pada *Bringelly Shale*

Jenis mineral	Komposisi mineral (%)			
	<i>Batuan segar</i>	<i>Lapuk sedang</i>	<i>Lapuk tinggi</i>	<i>Lapuk sempurna</i>
<i>Kaolinite</i>	33	31	29	30
<i>Illite-Smectite</i>	40	45	52	55
<i>Montmorillonite</i>	-	-	-	2.5
<i>Illite</i>	21	19	16.5	12.5
<i>Chlorite</i>	6	5	2.5	-

Sumber : William, 2007

### 2.5.3. Sifat Umum Mineral Lempung

Air biasanya tidak banyak mempengaruhi kelakuan tanah non kohe sif (*granuler*). Sebaliknya, tanah berbutir halus khususnya lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Karena pada tanah berbutir halus memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanah. Rentang nilai batas konsistensi dan aktivitas dari mineral lempung dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai Tipikal dari Batas Cair, Batas Plastis, dan Aktivitas dari Beberapa Mineral Lempung

Mineral	Batas Cair, <i>LL</i>	Batas Plastis, <i>PL</i>	Aktivitas, <i>A</i>
<i>Kaolinite</i>	35 – 100	20 - 40	0,3 – 0,5
<i>Illite</i>	60 - 120	35 - 60	0,5 - 1,2
<i>Montmorillonite</i>	100 - 900	50 - 100	1,5 – 7,0
<i>Halloysite (hydrated)</i>	50 - 70	40 - 60	0,1 – 0,2
<i>Halloysite (dehydrated)</i>	40 - 55	30 - 45	0,4 – 0,6
<i>Attapulgite</i>	150 - 250	100 - 125	0,4 – 1,3
<i>Allophane</i>	200 - 250	120 - 150	0,4 – 1,3

Sumber: Das, 2002

Dengan jumlah partikel yang banyak serta berukuran kecil, pengaruh kumulatif dari tarikan permukaan lapisan air yang mempersatukan butir-butir tanah akan menjadi besar. Umumnya partikel-partikel tanah lempung mempunyai muatan listrik negatif (anion). Dalam suatu kristal yang ideal, muatan-muatan positif dan negatif seimbang. Akan tetapi, akibat substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, terjadi muatan negatif pada permukaan partikel lempung. Untuk mengimbangi muatan negatif, partikel lempung menarik ion muatan positif (kation) dari garam yang ada di dalam air pori yang disebut sebagai pertukaran ion-ion.

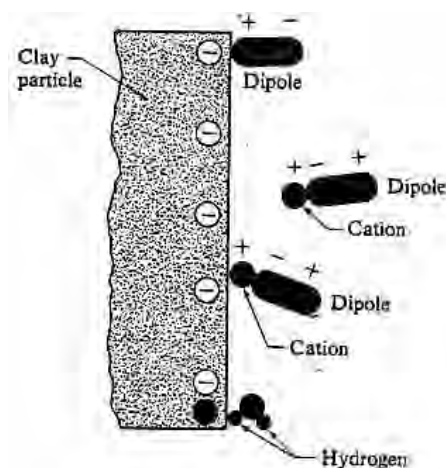
Kapasitas pertukaran kation tanah lempung didefinisikan sebagai jumlah pertukaran ion-ion yang dinyatakan dalam miliekivalen per 100 gram lempung kering. Beberapa garam juga terdapat pada permukaan partikel lempung kering. Pada waktu air ditambahkan pada lempung, kation-kation dan anion-anion mengapung disekitar partikel. Ciri-ciri rentang kapasitas pertukaran ion dari macam-macam mineral lempung ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Rentang Kapasitas Pertukaran Ion Dari Macam-Macam Mineral Lempung

	<i>Kaolinite</i>	<i>illite</i>	<i>Montmorillonite</i>
Tebal partikel	0,5 - 2 microns	0,5 - 2 microns	Kurang dari 9,5 A
Diameter partikel	0,5 - 2 microns	0,5 - 2 microns	0,05 - 10 microns
<i>Spesific surface</i> (m <sup>2</sup> /gr)	10 - 20	65 - 180	50 - 840
Kapasitas pertukaran kation (milliequivalents per 100 grams)	2 - 15	10 - 40	70 - 80

Sumber : Woodward & Associate, 1967)

Molekul air merupakan molekul yang dipolar, yaitu atom hidrogen tidak tersusun simetri disekitar atom-atom oksigen. Hal ini berarti bahwa satu molekul air merupakan batang yang mempunyai muatan positif dan negatif pada ujung yang berlawanan atau dipolar (berkutub dua). Molekul air yang merupakan molekul dipolar, tertarik oleh permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif dan oleh adanya kation-kation dalam lapisan ganda (*double layer*). Kemudian kation-kation tersebut menempel dipermukaan partikel yang bermuatan negatif (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 Tarik-menarik molekul-molekul air dipolar pada lapisan ganda terdifusi (Das, 2002).

#### 2.5.4. Identifikasi *Clay Shale*

*Shale* termasuk dalam batuan berbutir halus sebagian besar tersusun atas partikel lempung dan lanau. *Compacted shales* dan *cemented shales* terbagi dalam kelompok berdasarkan persentase kandungan partikel lempung, lanau, organik, dan mineral seperti pada Tabel 2.5 (Farrokhrouz dan Asef, 2013).

Tabel 2.5 Klasifikasi *Compacted Shales, Cemented Shales*

Group	Name	Main Components
Compacted shale	Clayey shale	Contain 50% or more clay-sized particles, true clay mineral or clay size particles $<0.002$ mm
	Silty shale	Contain 25% to 45% silt-sized particles, Silt may be in thin layers between clayey shale bonds
	Sandy shale	Contain 25% to 45% sand-sized particles, Sand may be in thin layers between clayey shale bonds
	Black shale	Contain organic-rich materials, split into thin semi-flexible sheets
Cemented shale	Calcareous shale	Contain 20% to 35% $\text{CaCO}_3$ (Marls and shaly chalks contain 35 to 65% $\text{CaCO}_3$ )
	Siliceous shale	Contain 70% to 85% amorphous silica, often highly siliceous volcanic ash (quartzose shale and detrital quartz)
	Ferruginous shale	Contain 25% to 35% $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Potassic shale contain 5% to 10% potash)
	Carbonaceous shale	Carbonaceous materials 3% to 15%, tends to bond constituents together and impart certain degree of toughness
	Clay bonded shale	Welded by re-crystallization of clay minerals or other diagenetic bonds

Sumber : Farrokhrouz dan Asef, 2013

Karakteristik umum *clay shale* juga diidentifikasi berdasarkan parameter teknik sebagai berikut (Wakim, 2005) :

1. *Overconsolidated*
2. Durabilitas rendah pada saat mengalami pembasahan
3. Tekanan pengembangan (*swelling pressure*) tinggi
4. Mengalami disintegrasi yang signifikan setelah mengalami kontak dengan air

Pengujian ketahanan batuan (*Durrability test*) dapat dilakukan sebagai identifikasi awal pada *shale*. Indeks keausan *Italian shale* termasuk dalam kategori *low durrability* dengan hanya satu siklus pengujian. *Shale* belum dapat

diidentifikasi sebagai *clay shale* berdasarkan parameter inisial awal, melainkan potensi turunnya propertis mekanis yang signifikan setelah mengalami interaksi dengan air (Belviso, 1977).

## **2.6. Pengujian *Clay Shale***

Pengujian contoh batuan bertujuan untuk mengetahui nilai parameter-parameter setiap benda uji meliputi sifat fisis, sifat mekanis, sifat dinamis, dan unsur kimiawinya. Jenis pengujian *clay shale* yang dilakukan dapat berupa penggunaan *clay shale* sebagai batuan maupun *clay shale* sebagai tanah.

### **2.6.1. Sifat-Sifat Fisik *Clay Shale***

Sifat – sifat batuan pada dasarnya adalah sangat luas karena menyangkut berbagai macam variasi dari struktur batuan, bentuk susunan butirannya (*fabrics*) serta komponen-komponennya yang mengikat, sehingga dalam menentukan sifat-sifat dari batuan secara kuantitatif hanya diberikan melalui beberapa indeks yang utama sebagai indeks propertis (Soetojo, 2009).

Indeks propertis yang paling utama adalah :

- Porositas (*porosity*) yang digunakan untuk mengetahui perbandingan volume antara butiran (*solids*) dengan pori (*voids*),
- Densitas (*density*) dipakai untuk mendapatkan informasi kepadatannya dan sebagai tambahan dapat pula untuk mengetahui mengenai kandungan mineral atau butirannya,
- Permeabilitas (*permeability*) digunakan untuk mengevaluasi konektivitas antar rongga-rongga pori batuan sehingga diketahui harga rembesannya,
- Durabilitas (*durability*) digunakan untuk mengidentifikasikan ketahanan dari batuan apabila mengalami kehancuran pada komponen atau struktur butirannya serta terjadinya penurunan kualitas batuan pada saat mengalami tegangan,
- Kekuatan (*strength*) disini digunakan untuk mengetahui kekuatan batuan dari rangkaian butir-butir struktur batuan yang saling mengikat satu sama

lain. Harga kekuatan ini dibutuhkan pula untuk menentukan klasifikasi batumannya,

- Test kecepatan suara (*sonic velocity test*) dapat digunakan untuk mengevaluasi derajat retakan (*fissuring*) pada batuan.

#### 2.6.1.1. Porositas

Porositas (*porosity*) pada batuan ditunjukkan dengan harga ( $n$ ) tanpa dimensi atau dalam persen (%) dan merupakan perbandingan antara volume ruang pori (*void*) dengan volume total pada batuan dengan persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$n = \frac{V_p}{V_t} \quad (2.1)$$

Dimana  $V_p$  adalah volume pori sedangkan  $V_t$  adalah volume total dari batuan yang diuji. Untuk batuan sedimen yang terbentuk dari banyak fragmen batuan atau cangkang, harga dari porositasnya dapat dimulai dari mendekati harga 0% sampai 90% (atau  $n = 0.90$ ), sedangkan untuk *sandstone* rata-rata memiliki porositas  $n = 15\%$  ( $n = 0.15$ ).

Pada batuan, harga porositas sangat terkait dengan umur dan letak kedalaman dari lapisan batuan. Semakin dalam letak dari lapisan batuan dan tua umur batumannya, maka harga porositas ini akan semakin semakin kecil sehingga menjadi semakin padat. Kepadatan batu kapur (*chalk*) memiliki kepadatan yang paling kecil dengan porositasnya lebih dari 50%. Pada umumnya batuan beku (*igneous rock*) memiliki porositas kurang dari 1-2%, akan tetapi apabila mengalami proses pelapukan, maka porositasnya dapat mencapai 20% atau lebih. Penentuan harga porositas dapat dilakukan melalui beberapa cara antara lain (Soetojo, 2009):

- Mengukur harga *density*,
- Mengukur kadar air setelah dijenuhkan dalam air,
- Dengan mengukur kandungan merkuri setelah direndam dalam merkuri dengan tekanan,



- Mengukur volume butir (*solid*) dan volume rongga pori dengan menggunakan hukum Boyle.

#### 2.6.1.2. Densitas

Densitas merupakan berat isi batuan ( $\gamma$ ) dibagi dengan gravitasi ( $g$ ) berat isi juga merupakan berat spesifik dari batuan dengan satuan ton per meter kubik atau kilonewton per meter kubik (Soetojo, 2009). Sedangkan *specific gravity* dari butiran batuan disingkat  $G_s$  adalah perbandingan antara densitas dengan berat isi dari air ( $\gamma_w$ ). Sehingga untuk batuan dengan *specific gravity* ( $G_s$ ) = 2.6, maka batuan tersebut memiliki densitas sebesar 2.6 t/m<sup>3</sup> atau 26 kN/m<sup>3</sup>, karena  $\gamma_w$  memiliki harga sebesar 1 gr/cm<sup>3</sup> atau 1 gr/cc atau 1 t/m<sup>3</sup>. ( $\gamma_w$  air suling pada 4°C = 1 t/m<sup>3</sup>).

Harga *specific gravity* ( $G_s$ ) butiran dari batuan dapat ditentukan dengan mengambil butirannya dengan cara *digrinding* dan kemudian ditentukan seperti pada tanah atau pasir biasa. Apabila prosentase mineral pada batuan diperoleh, maka harga *specific gravity* dari batuan tersebut dapat dihitung dengan persamaan 2.2. Hubungan antara densitas kering ( $\gamma_{dry}$ ), kadar air ( $w$ ) porositas ( $n$ ) dan *specific gravity* dapat ditentukan dengan persamaan 2.3 – 2.5 seperti berikut:

$$G = \sum_{i=1}^n G_i V_i \quad (2.2)$$

$$\gamma_{dry} = G \gamma_w (1-n) \quad (2.3)$$

$$\gamma_{dry} = \frac{\gamma_{wet}}{1+w} \quad (2.4)$$

$$n = \frac{w.G}{1+w.G} \quad (2.5)$$

dengan :

$G_i$  = *Specific gravity* dari komponen  $i$ ,

$V_i$  = Prosentasi volume dari komponen  $i$  dari batuan.

$\gamma_{dry}$  = densitas kering ( $\gamma_{dry}$ ),

$\gamma_{wet}$  = densitas basah ( $\gamma_{wet}$ ),

$G_s$  = *specific gravity*,

$w$  = kadar air,

$n$  = porositas.

Harga densitas dari batuan itu memiliki rentang yang cukup bervariasi jika dibandingkan dengan densitas tanah. Beberapa harga densitas kering dapat dilihat pada Tabel 2.6 dibawah ini:

Tabel 2.6 Beberapa Harga Densitas Kering Batuan

Batuan ( <i>Rock</i> )	Densitas Kering ( $\gamma_{dry}$ ) (gr/m <sup>3</sup> )
<i>Granite</i>	2.65
<i>Diorite</i>	2.85
<i>Dabro</i>	3.00
<i>Gypsum</i>	2.30
<i>Rock salt</i>	2.10
<i>Coal</i>	0.7 - 2.0
<i>Oil Shale</i>	1.6 - 2.7
<i>Dense limestone</i>	2.70
<i>Marble</i>	2.75
<i>Quartz, mica schist</i>	2.82
<i>Amphipol</i>	2.99
<i>Rhyolite</i>	2.37
<i>Basalt</i>	2.77

Sumber : Sortojo, 2009

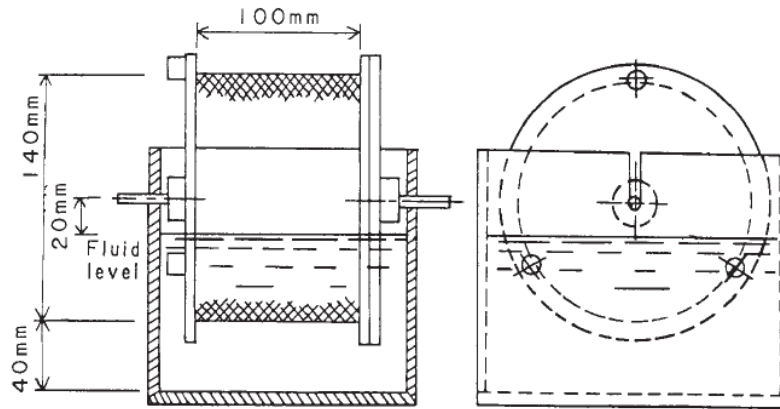
### 2.6.1.3. Durabilitas (Ketahanan Batuan)

Ketahanan batuan terhadap pengaruh cuaca dan air adalah sangat penting pada batuan untuk diketahui. Khususnya pada pelaksanaan batuan sebagai bagian dari konstruksi dilapangan. Perubahan sifat dari batuan karena cuaca dan air dapat mengakibatkan antara lain terkelupasnya lapis permukaan batuaan, hidrasi pada batuan, penuaan pada batuan, terlarut, oksidasi, abrasi, dan proses-proses lainnya akibat proses pelapukan (Soetojo, 2009).

Pada beberapa *Shale* dan beberapa batuan vulkanik menunjukan terjadinya kemerosotan kualitas batuan yang cepat ketika batuan tersebut terbuka diudara atau terlepas dari penutup yang menimbunnya. Degradasi yang terjadi pada permukaan batuan terjadi secara cepat, sedangkan pada bagian inti lebih lambat. Sehingga diperlukan suatu harga indeks yang mengindikasikan perubahan

dari batuan. Namun pola perubahan dari berbagai macam batuan memiliki perbedaan yang besar dan sangat bervariasi, sehingga harga indeks tidak dapat ditentukan secara baik. Oleh karena itu batuan hanya dapat diidentifikasi dengan harga indeks yang menunjukkan adanya perubahan sebagai ketahanan dari batuan secara relative dan merupakan rangking dari durabilitas yang sangat tinggi (*very high durability*) sampai yang sangat rendah (*very low durability*) (Soetojo, 2009).

Pengujian terhadap indeks ketahanan batuan yang diusulkan oleh Franklin & Chandra (1972) yang disebut *Slake Durability Test* banyak digunakan dalam menentukan ketahanan suatu batuan. Peralatan ini terdiri dari drum dengan diameter 140 mm dan panjang 100 mm. Pada dindingnya terdapat lubang-lubang saringan dengan diameter 2 mm. 500 gr batuan dipecahkan menjadi 10 butiran dan dimasukkan ke dalam drum tersebut dan drum, kemudian drum diputar dengan kecepatan 20 putaran per menit dalam kondisi terendam dalam air. Setelah 10 menit, persentase batuan yang tertinggal di dalam drum diukur dalam persen berat kering dan dinyatakan sebagai harga *Slake Durability Index* (Soetojo, 2009).



Gambar 2.11 Dimensi Peralatan Pengujian *Slake Durability* (ASTM D4644-04).

Dimensi peralatan pengujian *slake durability* yang digunakan disesuaikan dengan ketentuan peraturan ASTM D4644-04, dimana dimensi tersebut disajikan pada Gambar 2.11. *Slake Durability Index* pada serpihan batuan atau jenis batuan lain yang sejenis ditentukan setelah mengalami 2 kali siklus pengeringan dan pembasahan yaitu dengan pengeringan dengan oven dan 10 menit pembasahan dengan direndam air sesuai dengan *standart tumbling* (jatuh) dan

abrasi. Perhitungan nilai *Slake Durability Index* (pada siklus kedua) dapat ditentukan menggunakan perumusan sebagai berikut:

$$I_d(2) = \left[ \frac{W_F - C}{B - C} \right] \times 100 \quad (2.6)$$

dengan:

- $I_d(2)$  = Nilai *Slake Durability Index* (siklus/putaran kedua),  
 $B$  = Berat drum ditambah dengan berat kering oven sampel sebelum dilakukan putaran kedua,  
 $W_F$  = Berat dari drum ditambah berat kering oven sampel yang tertahansetelah putaran yang kedua,  
 $C$  = Berat dari drum.

Nilai indeks durabilitas ini tidak dapat dikaitkan dengan umur geologi batuan. Besar durabilitas batuan berbanding lurus dengan densitasnya dan berbanding terbalik dengan kadar air asli batuan. Gamble (1971) memberikan klasifikasi batuan dari hasil pengujian durabilitas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Klasifikasi Durabilitas dari Gamble

Nama Grup Batuan	% Tertinggal Setelah Putaran	% Tertinggal Setelah Putaran
	1 x 10 menit	2 x 10 menit
	( Berat kering )	( Berat Kering )
<i>Very high durability</i>	> 99	> 98
<i>High durability</i>	98 - 99	95 - 98
<i>Medium high durability</i>	95 - 98	85 - 95
<i>Medium durability</i>	85 - 95	60 - 85
<i>Low durability</i>	60 - 85	30 - 60
<i>Very low durability</i>	< 60	< 30

Sumber : Soetojo, 2009

## 2.6.2. Parameter Sifat Mekanis *Clay Shale*

### 2.6.2.1. Pengujian Dengan Tes Tekan Tanpa Tekanan Samping

Tes ini dikenal dengan nama *Unconfined Compression Test* atau disebut juga *Unconfined Compressive Strength* (UCS). Hasil pengujiannya ditulis sebagai  $q_u$ . Harga  $q_u$  ini merupakan ratio beban puncak dengan luas penampang  $A$  pada saat runtuh.

$$q_u = \frac{P}{A} \quad (2.7)$$

dengan :

$P$  = beban puncak (kg),

$A$  = luas penampang ( $\text{cm}^2$ ).

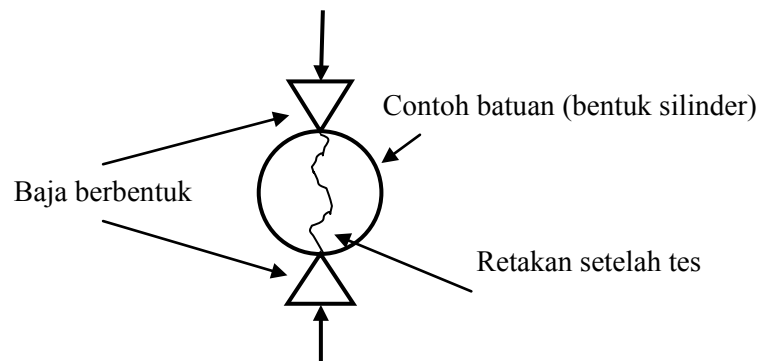
Tabel 2.8 Nilai UCS ( $q_u$ ) dengan tegangan tarik tidak langsung ( $\frac{q_u}{T_o}$ )

Diskripsi	$q_u$		$\frac{q_u}{T_o}$
	Kg/cm <sup>2</sup>	psi	
<i>Lamongan limestone (Ind)</i>	284	4.057	7,9
<i>Tuban limestone (Ind)</i>	128	1.828	4,3
<i>Berea sandstone</i>	738	10.700	63
<i>Hackensack siltstone</i>	1227	17.800	41,5
<i>Bedford limestone</i>	510	7.400	32,3
<i>Flaming gorge shale</i>	352	5.100	167,6
<i>Taconic marble</i>	620	8.990	53
<i>Oneota dolomite</i>	869	12.600	19,7
<i>Nevada test site basalt</i>	1480	21.500	11,3
<i>Nevada test site granite</i>	1411	20.500	12,1
<i>Nevada test site tuff</i>	113	1.650	10

Sumber : Richard E Goodman, 1989

### 2.6.2.2. Pengujian Dengan Alat Uji Beban Terpusat (*Point Load Test*)

Kekuatan batuan juga dapat diukur dengan menggunakan alat *Point Load* yang pengujian ini dikemukakan oleh Broch & Franklin (1972). Pada pengujian ini contoh batuan ditekan oleh dua baja berbentuk konus sampai terjadi keruntuhan dengan membentuk retakan dalam bidang tarik yang sejajar dengan sumbu pembebanan seperti tampak pada gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 Skematis alat *point load test* pada batuan (Soetojo, 2009).

Hasil pengujian dengan sistem *Point Load* ini sering pula disebut dengan Indeks Kekuatan Batuan (*Strength Index*). Tes ini relatif mudah dilaksanakan baik dilapangan pada saat pengeboran dan pengambilan contoh maupun tes di laboratorium. Harga kekuatan batuan dengan tes point load ini atau disebut dengan *Point Load Strength* dapat ditulis sebagai berikut:

$$I_s = \frac{P}{D^2} \quad (2.8)$$

dengan:

$I_s$  = Index Point Load Strength,

$P$  = Beban setelah mencapai keruntuhan,

$D$  = Jarak antara dua titik baja konusnya.

Harga indeks kekuatan batuan ini dilaporkan dengan harga *Point Load* untuk batuan hasil pengeboran dengan diameter contoh batuan sebesar 50 mm. Hubungan antara harga indeks kekuatan batuan dengan harga kuat tekan (*unconfined*) dapat ditentukan dengan persamaan 2.9. Pada Tabel 2.9 dapat diketahui harga *Point Load Index* untuk beberapa batuan:

$$q_u = 24 I_{s(50)} \quad (2.9)$$

dengan:

$q_u$  = Harga kuat tekan (*unconfined compressive strength*)

silinder contoh batuan,

$I_{s(50)}$  = Harga *Point Load Strength Index* yang sudah terkoreksi untuk diameter 50 mm silinder contoh batuan.

Tabel 2.9 Harga *Point Load Index* Beberapa Batuan

<b>Material Batuan</b>	<b><i>Point Load Strength Index</i> ( kg/cm<sup>2</sup> )</b>
<i>Tertiary sandstone &amp; clay stone</i>	0,5 - 10
<i>Coal</i>	2,0 - 20
<i>Limestone</i>	2,5 - 80
<i>Mudstone, Shale</i>	20 - 80
<i>Volcanic flow rocks</i>	30 - 150
<i>Dolomite</i>	60 - 110

Sumber : Soetojo, 2009

### 2.6.3. Parameter Sifat Dinamik *Clay Shale*

Das (2002) menyatakan bahwa banyak masalah dalam aplikasi teknik sipil yang membutuhkan pengetahuan tentang sifat-sifat tanah akibat beban dinamis seperti gempa, gelombang laut, getaran mesin, letusan dan beban kendaraan cepat yang berulang-ulang. Masalah-masalah tersebut terdiri dari daya dukung pondasi dinamis, pengaruh pondasi mesin akibat beban siklik, interaksi tanah-struktur ketika terjadi penyebaran gelombang akibat gempa bumi.

Analisa terhadap permasalahan yang berkaitan dengan beban dinamis pada batuan dan interaksi batuan-struktur memerlukan dua parameter penting yaitu modulus geser (*shear modulus*) dan rasio redaman (*damping ratio*). Untuk mendapatkan kedua parameter tersebut dapat ditentukan dengan percobaan di laboratorium, test di lapangan, atau korelasi empiris dari keduanya. Salah satu test laboratorium tersebut adalah pengujian dengan menggunakan tes Elemen Bender.

Shirley dan Hampton (1977) menyatakan bahwa pengujian dengan alat Elemen Bender (*Bender Element Test*) dapat menghitung modulus geser tanah pada regangan rendah (*small strain shear modulus*) yakni melalui pengukuran

kecepatan perambatan gelombang geser ( $V_s$ ). Dari nilai gelombang geser, maka modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$G_{max} = \rho V^2 \quad (2.10)$$

dengan:

$$\begin{aligned} G &= \text{Modulus geser maksimum (t/m}^2\text{)} \\ \rho &= \frac{\text{berat volume (}\gamma\text{)}}{\text{gravitasi (}g\text{)}} = \text{densitas (ton/m}^3\text{)}, \\ V &= \text{kecepatan rambat gelombang geser (cm/dtk)}. \end{aligned}$$

Menurut Fahoum, (1996) redaman merupakan representasi dari besarnya energi yang terdisipasi (hilangnya energi mekanik karena gesekan) selama beban dinamis bekerja (*loading-unloading*). Lebih lanjut menurut mereka, partikel-partikel tanah yang saling berorientasi selama terjadinya pembebanan (*loading*) akan mengakibatkan energi yang dilepaskan selama peniadaan beban (*unloading*) akan lebih kecil daripada energi yang disimpan selama pembebanan.

Parameter yang terkait dengan properti dinamik adalah modulus elastisitas (*modulus of elasticity*). Modulus elastisitas jarang digunakan dalam analisis dan evaluasi beban dinamik. Namun demikian Bowles (1984) mengemukakan bahwa modulus elastisitas merupakan ukuran dari deformasi dan kekakuan material. Modulus elastisitas biasa disebut juga dengan tegangan-regangan, karena persamaan yang digunakan adalah:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2.11)$$

dengan:

$$\Delta\sigma = \text{perubahan tegangan}$$

$$\Delta\varepsilon = \text{perubahan regangan}$$

Alat uji Elemen Bender (*Bender Element Test*) yang digunakan dalam penelitian ini diperlukan untuk menentukan parameter dinamik batuan, parameter dinamik batuan yang dihasilkan adalah modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ). Alat uji



Elemen Bender (*Bender Element Test*) pertama kali di perkenalkan oleh Shirley dan Hampton (1977), cara bekerja alat ini cukup sederhana dan tercatat cukup baik untuk menghitung modulus geser tanah/batuan pada regangan rendah (*small strain shear modulus*) yaitu melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang geser yang melalui sampel tanah/batuan. Pada awalnya alat Elemen Bender dibuat menyatu atau merupakan komponen tambahan dari alat Triaksial, akan tetapi sekarang Elemen Bender juga telah di buat sebagai suatu alat yang mandiri. Ada beberapa keuntungan penggunaan tipe ini, diantaranya kemudahan pelaksanaan pengukuran, pengukuran rambatan gelombang secara horisontal. Tekanan keliling (*confining pressure*) pada tanah/batuan tidak dapat di modelkan dengan menggunakan alat ini.

Dengan alat Elemen Bender, kecepatan gelombang longitudinal,  $V_p$  dapat diukur. Persamaan 2.14 digunakan untuk menghitung  $V_s$ . Besarnya kecepatan gelombang longitudinal dan gelombang geser pada beberapa macam batuan dapat dilihat pada Tabel 2.10.

$$V_p = \frac{L}{t} \quad (2.12)$$

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (2.13)$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2(1-\mu)}{(1-2\mu)}} \quad (2.14)$$

dengan :

$V_p$  = Kecepatan rambat gelombang longitudinal (*compression wave*),

$V_s$  = Kecepatan rambat gelombang geser,

$E$  = Modulus elastisitas,

$\mu$  = *Poisson ratio*,

$\rho$  = Densitas,

$G$  = Modulus geser maksimum.

Tabel 2.10 Kecepatan Gelombang Longitudinal dan Kecepatan Gelombang Geser Rata-rata pada Beberapa Batuan

<b>MATERIAL BATUAN</b>	<b><math>V_p</math> ( m/s )</b>	<b><math>V_s</math> ( m/s )</b>
<i>Gabbro</i>	7138	3862
<i>Basalt</i>	5914	3217
<i>Limestone</i>	5659	3064
<i>Dolomite</i>	6017	3306
<i>Sandstone</i>	4551	2821
<i>Shale</i>	3584	2273

Sumber : William, 2003

#### 2.6.4. Uji Pengembangan (*swelling*)

Tanah dan batuan yang mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Derajat pengembangan bergantung pada beberapa faktor seperti tipe dan jumlah mineral lempung, luas spesifik lempung, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, valensi kation, sementasi, adanya bahan-bahan organik, kadar air awal dan lain lain. Untuk memprediksi sifat kembang susut tanah dapat dilakukan uji pengembangan di laboratorium, analisis kimia dan mineralogi, korelasi dengan klasifikasi dan sifat-sifat indeks tanah.

Tabel 2.11 menunjukkan kemungkinan potensi ekspansi tanah dari uji pengembangan pada lempung dan tanah ekspansif oleh Holtz (1969) dan Gibbs (1969), sedangkan Tabel 2.12 menunjukkan potensi ekspansi yang dilakukan oleh Chen (1975).

Tabel 2.11 Klasifikasi Potensi Pengembangan oleh Holtz dan Gibbs

<b>Potensi Pengembangan</b>	<b>Pengembangan (%) (akibat tekanan 6,9 kPa)</b>	<b>Persentase koloid (&lt;0,001mm) (%)</b>	<b>Indeks plastisitas <math>PI</math>(%)</b>	<b>Batas susut <math>SL</math> (%)</b>	<b>Batas cair <math>LL</math> (%)</b>
Sangat tinggi	> 30	> 28	> 35	> 11	> 63
Tinggi	20 - 30	20 - 31	25 - 41	7 - 12	50 - 63
Sedang	10 - 20	13 - 23	15 - 28	10 - 16	39 - 50
Rendah	< 10	< 15	< 18	< 15	< 39

Sumber : Holtz dan Gibbs, 1969

Tabel 2.12 Klasifikasi Potensi Pengembangan oleh Chen

Data lapangan dan laboratorium			Kemungkinan Pengembangan (% perubahan Volume total)	Swelling Pressure Ksf	Derajat Pengembangan
Persen lolos Ayakan No. 200	Batas Cair (%)	Standard Penetration Resistance Blows/ft			
> 95	> 60	> 30	> 10	> 20	Sangat tinggi
60 - 95	40 - 60	20 - 30	3 - 10	5 - 20	Tinggi
30 - 60	30 - 40	10 - 20	1 - 5	3 - 5	Sedang
< 30	< 30	< 30	< 1	1	Rendah

Sumber : Chen, 1975

Uji pengembangan dilakukan untuk menentukan parameter potensi pengembangan (*swelling potential*) pada tanah. Pengujian pengembangan ini umumnya dilakukan pada cincin besi silinder dibebani dengan tekanan terbagi rata, kemudian direndam air. Contoh tanah mengembang secara vertikal dan perubahan tinggi dibagi tinggi awal adalah potensi pengembangannya (dinyatakan dalam persen). Pengujian ini dapat dilakukan dengan alat uji konsolidasi konvensional (konsolidometer).

Tanah yang digunakan dapat berupa tanah asli (*undisturbed*) maupun dibentuk (*remolded*). Jika sample tanah adalah tanah yang dibentuk, maka harus diperhatikan kepadatan, kadar air dan bagaimana pemeraman contoh tanahnya. Kadar air awal adalah kadar air tanah ditempat, kadar air optimum atau kering udara. Beban yang digunakan adalah beban terbagi rata yang berkisar antara 2.9 – 71.8 kPa (Coduto, 1994). Akan tetapi, karena belum ada prosedur standar pengujian prosedur pengembangan, spesifikasi dari pengujian menjadi bervariasi dengan hasil pengujian yang berbeda dan tidak selalu dapat dibandingkan.

Snethen (1977) menyarankan definisi potensi pengembangan adalah keseimbangan perubahan volume vertikal (atau deformasi benda uji) dengan menggunakan alat tipe konsolidometer, dinyatakan dalam persen terhadap tinggi awal pada suatu contoh tak terganggu dengan kadar dan kepadatan inisial, pada kedudukan jenuh, di bawah beban yang ekuivalen dengan tekanan *overburden* di tempat. Dengan menggunakan kriteria pengujian Snethen, klasifikasi tanah ekspansif diperlihatkan dalam Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Uji Pengembangan Tanah Tidak Terganggu Pada Tekanan *Overburden In Situ*

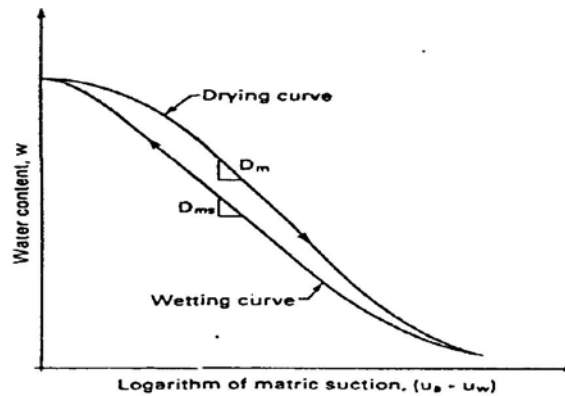
<i>LL</i> (%)	<i>IP</i> (%)	<i>U<sub>w</sub>(suction)</i> tsf	Potensi Pengembangan (%)	Klasifikasi Pengembangan
> 60	> 35	> 4	> 1,5	Tinggi
50 - 60	25 - 35	1,5 - 4	0,5 - 1,5	Sedang
< 50	< 35	< 1,5	< 0,5	Rendah

Sumber : Snethen, 1977)

### 2.6.5. Pengeringan dan Pembasahan

Proses pengeringan (*drying*) adalah suatu kondisi di mana kadar air di dalam suatu pori-pori tanah/batuan mengalami penurunan, sebaliknya pada proses pembasahan (*wetting*) adalah suatu kondisi di mana terjadi peningkatan kadar air di dalam pori-pori suatu massa tanah/batuan. Gambar 2.15 menunjukkan adanya hubungan antara nilai tegangan air pori negatif (*suction*) dan kadar air pada suatu tanah/batuan, yang membentuk suatu pola yang khas dari kurva pengeringan dan pembasahan (*drying-wetting curve*) suatu tanah.

Grafik kurva pengeringan terletak di atas kurva pembasahan, dan bentuk kurva ini mirip dengan grafik hubungan antara perubahan angka pori dengan tegangan pada proses konsolidasi. Pada saat tanah/batuan dibebani berupa pengeringan, maka tegangan air pori negatif akan meningkat dengan semakin berkurangnya kadar air sampai tanah/batuan benar-benar kering. Bila tanah/batuan kering ini dibasahi kembali, akan terjadi penurunan tegangan air pori negatif dengan bertambahnya kadar air tanah/batuan. Namun kurvanya tidak berimpit, melainkan berada di bawah, hal ini terjadi karena, tanah/batuan bukan material yang bersifat elastis. Dari gambar ini dapat disimpulkan bahwa proses pengeringan akan menyebabkan meningkatnya tegangan air pori negatif, dan sebaliknya, proses pembasahan dapat menyebabkan mengecilnya tegangan air pori negatif. Gambar 2.13 dibawah ini merupakan bentuk khas kurva pengeringan dan pembasahan.



Gambar 2.13 Bentuk khas kurva pengeringan dan pembasahan (Fredlund dan Rahardjo, 1993).

#### 2.6.6. Tegangan Air Pori Negatif

Metode pengukuran dengan menggunakan kertas filter mampu mengukur *matric suction* dari beberapa kilopascal sampai ratusan ribu kilopascal. Prinsip dasar dari metode kertas filter adalah pada suatu hipotesis bahwa pada suatu titik keseimbangan tegangan air pori negatif atau *suction* di dalam suatu contoh tanah dan di dalam suatu kertas filter yang berada dalam kondisi kontak dengan contoh tanah tersebut adalah sama. Dalam prakteknya kertas filter kering ditempatkan pada contoh tanah yang ingin diketahui besarnya *suction*, kemudian air akan mengalir dari tanah ke kertas hingga tercapai kondisi keseimbangan. Selama waktu itu, maka contoh tanah harus dijaga agar kadar airnya konstan dan tidak terjadi perubahan temperatur sekeliling yang terlalu drastis. Setelah terjadi keseimbangan, maka kadar air pada kertas filter diukur (Fredlund dan Rahardjo, 1993).

Kertas filter yang digunakan dalam percobaan ini adalah kertas filter *Whatman No.42*. Pengukuran *matric suction* menggunakan tiga kertas filter yang berhubungan langsung dengan *sample* tanah. Kertas filter yang di tengah digunakan untuk mengukur kadar air. Sedangkan kertas filter yang di luar digunakan untuk melindungi kertas filter yang di tengah dari partikel tanah. Besarnya tegangan air pori negatif yang terjadi dapat ditentukan dengan mengetahui kadar air yang terserap pada kertas filter yang telah mencapai kesetimbangan. Kadar air pada kertas filter ( $w_f$ ) dihitung dengan rumus di bawah ini:

$$w_f = \frac{w_b - w_k}{w_k} 100 \% \quad (2.15)$$

dengan:

$w_b$  = berat basah kertas filter (gr),

$w_k$  = berat kering kertas filter (gr).

Tegangan air pori negatif dihitung dengan cara menarik garis arah vertikal pada grafik kalibrasi kertas filter (Gambar 2.14) hingga berpotongan dengan garis kurva kalibrasi kertas filter, kemudian ditarik garis horizontal hingga perpotongan dengan sumbu vertikal. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, maka tegangan air pori negatif dihitung dengan menggunakan persamaan garis hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kadar air kertas filter sebagai berikut:

Untuk kadar air kertas filter ( $w_f$ ) lebih kecil dari 45,3%, maka:

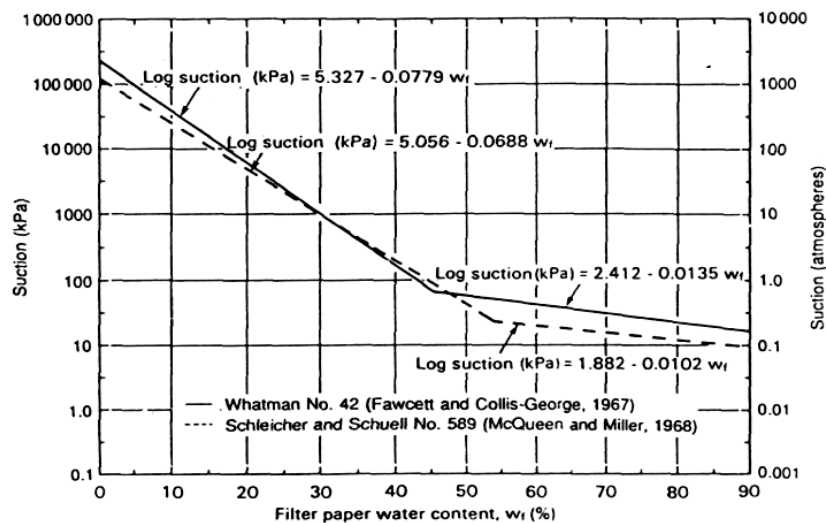
$$\text{Log suction (kPa)} = 5,327 - 0,0779 \cdot W_f \quad (2.16a)$$

$$\text{Suction (kPa)} = 10^{5,327 - 0,0779 \cdot W_f} \quad (2.16b)$$

Untuk kadar air kertas filter ( $w_f$ ) lebih besar atau sama dengan 45,3%, maka:

$$\text{Log suction (kPa)} = 2,412 - 0,0135 \cdot W_f \quad (2.17a)$$

$$\text{Suction (kPa)} = 10^{2,412 - 0,0135 \cdot W_f} \quad (2.17b)$$



Gambar 2.14 Grafik Kalibrasi *suction* untuk dua jenis kertas filter (Fredlund dan Raharjo, 1993).

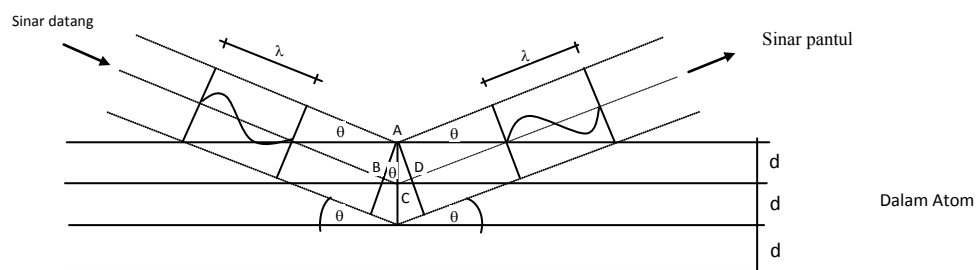
### 2.6.7. Sifat Kimiawi *Clay Shale*

#### 2.6.7.1. Analisa Kandungan Kimiawi Batuan Dengan Metode Pengujian

##### Difraksi Sinar-X (X-Ray Diffractometer)

Mitchell (1976) menyatakan bahwa difraksi sinar-X adalah metode yang paling banyak digunakan dalam identifikasi tanah berbutir halus dan studi struktur kristal. Pada dasarnya metode ini hanya digunakan untuk analisis kualitatif, walaupun penetapan semi kuantitatif tanah lempung juga sering digunakan. Dasar penggunaan sinar-X dalam penelitian tanah lempung adalah susunan sistematis atom-atom atau ion-ion dalam bidang kristal. Setiap spesies mineral dicirikan oleh susunan atom yang spesifik, yang menghasilkan bidang atom penciri yang dapat memantulkan sinar-X. Sinar-X adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang pendek yaitu dengan rentang sebesar 0,01 sampai dengan 100 Å (1 Å = 0,1 nm).

Sinar-X dihasilkan dalam suatu tabung sinar-X oleh pukulan elektron-elektron yang bergerak cepat ke suatu target logam. Atom-atom yang mengalami eksitasi dalam target tersebut memancarkan radiasi dengan panjang gelombang antara 0,01 Å – 100 Å, yang merupakan panjang gelombang radiasi  $K_{\alpha}$  dan  $K_{\beta}$ , kebanyakan logam memancarkan pita-pita lebar dari radiasi  $K_{\alpha}$  dan  $K_{\beta}$ , sebagai contoh adalah target  $Cu$ . Jika suatu berkas sinar radiasi  $K_{\alpha}Cu$  mengenai bidang kristal dari suatu mineral (Gambar 2.15), sinar-X dipencarkan oleh atom-atom dalam kristal. Untuk memperoleh suatu difraksi, harus terjadi penguatan pada sinar-X yang terpencarkan tersebut pada suatu arah tertentu. Penguatan sinar-X yang terpencarkan menjadi kuantitatif hanya jika hukum Bragg's dipenuhi.



Gambar 2.15 Kondisi geometri difraksi sinar-X menurut hukum Bragg's (Mitchell, 1976).

Dari gambar 2.40 di atas terlihat bahwa  $BC + CD = n\lambda$ , dan karena simetri maka garis  $BC =$  garis  $CD$ , dimana garis  $CD = d \sin \theta$ , sehingga persamaan yang diberikan menjadi:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.18)$$

dengan:

$d$  = Jarak bidang atom dalam kristal,

$\lambda$  = Panjang gelombang,

$\theta$  = Sudut difraksi,

$n$  = Tingkat difraksi ( $n = 1, 2, \dots$ ).

Hukum Bragg's menduga bahwa semua bidang-bidang dalam suatu kristal memantulkan sinar-X, apabila kristal dimiringkan dengan sudut tertentu terhadap berkas sinar datang. Sudut tergantung pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) dan jarak antara bidang atom ( $d$ ). Berkas sinar datang telah melintasi beberapa bilangan integral dari panjang gelombang ( $n\lambda$ ). Difraksi dari bidang-bidang atom berjarak sama yang berurutan menghasilkan difraksi maksimum. Apabila difraksi ini diterima oleh film fotografi, akan dihasilkan suatu seri titik atau garis. Posisi dari garis-garis tersebut berhubungan langsung dengan jarak  $d$ .

Nilai  $d_{(001)/n}$ , yang disebut jarak kisi (jarak antar layer), dapat diukur dari hasil analisis difraksi sinar-X. Jika  $n = 1$ , maka  $d_{(001)/1}$  menunjukkan jarak difraksi tingkat pertama (*first order*). Jika  $n = 2$ ,  $d_{(001)/2}$  menunjukkan jarak difraksi tingkat kedua. Rangkaian dari nilai  $d/n$  yang diperoleh, bersama dengan intensitas puncak kurva difraksi sinar-X, merupakan penciri bagi identifikasi jenis mineral. Tabel 2.14 dapat digunakan untuk menentukan jenis mineral lempung.



Tabel 2.14 Data Hasil Diffraksi Sinar X untuk Beberapa Jenis Lempung

No.	Jarak, d (Å)	Jenis Mineralogi
1	14	<i>Montmorillonite</i>
2	12	<i>Sepiolite</i>
3	10	<i>Illite</i>
4	9,23	<i>Vermiculite</i>
5	7	<i>Kaolinite</i>
6	6,90	<i>Chlorite</i>
7	6,44	<i>Attapulgite</i>
8	6,39	<i>Feldspar</i>
9	4,90 – 5,00	<i>Carbonate</i>
10	4,70 – 4,79	<i>Chlorite</i>
11	4,60	<i>Vermiculite</i>
12	4,45 – 4,50	<i>Illite</i>
13	4,46	<i>Kaolinite</i>
14	4,36	<i>Kaolinite</i>

Sumber: Mitchell (1976)

#### 2.6.7.2. Analisa Kandungan Kimiawi Batuan Dengan Metode Pengujian

##### Mikroskop Pemindai Elektron (*Scanning Electron Microscope*)

Mikroskop Pemindai Elektron adalah sebuah mikroskop elektron yang cara kerjanya mirip dengan cara kerja *projector slide*, dimana elektron ditembuskan ke dalam obyek pengamatan dan pengamat mengamati hasil tembusannya pada layar. Mikroskop Pemindai Elektron (SEM) banyak digunakan untuk studi detil arsitektur permukaan sel (atau struktur jasad renik lainnya), pori pada tanah dan obyek diamati secara tiga dimensi.

Cara terbentuknya gambar pada SEM berbeda dengan apa yang terjadi pada mikroskop optik dan *Tomography Electron Microscope* (TEM). Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*Cathode Ray Tube*). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan,

sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi (Gambar 2.16).



Gambar 2.16 Mikroskop Pemindai Elektron (SEM) ( [www.wf.com](http://www.wf.com), 2011).

## 2.7. Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

### 2.7.1. *Clay Shale* Cipularang

Beberapa masalah geoteknik yang dihadapi dalam perencanaan dan pelaksanaan pondasi adalah akibat keberadaan lapisan tanah *clay shale* yang mengandung *montmorillonite* pada timbunan jalan tol Cipularang yang menghubungkan Jakarta - Bandung (Irsyam, 2007). Dari Tabel 2.15, perhitungan ulang parameter kekuatan geser pada saat kondisi runtuh diperoleh nilai kohesi ( $c$ ) sebesar 5 kPa dan sudut geser ( $\phi$ ) sebesar  $13^\circ$ . Penurunan kekuatan tanah pada *clay shale* ini bisa sangat bervariasi bergantung kepada lamanya *clay shale* terekspos terhadap cuaca, durasi pengeboran tanah serta sensitifitas dari *clay shale* sendiri. Sehingga, perencanaan tiang pancang grup dipilih sebagai solusi yang paling tepat untuk mengatasi kelongsoran pada timbunan pada tol Cipularang.

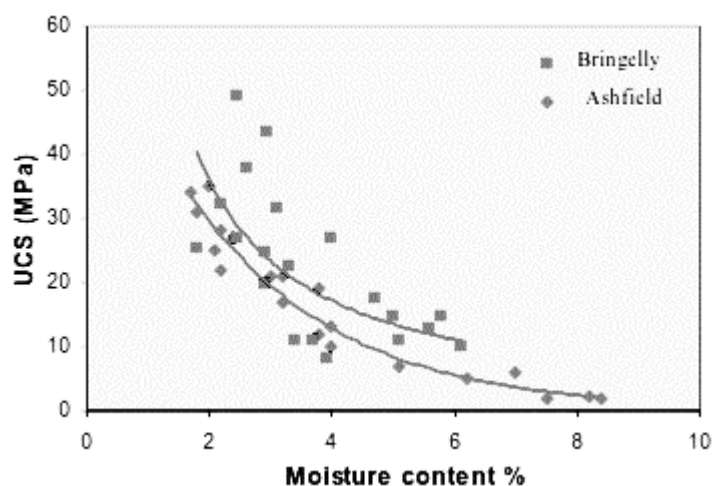
Tabel 2.15 Hasil Perhitungan Kembali Parameter Kekuatan Geser Pada Saat Longsor

Identifikasi	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
Material timbunan (badan jalan)	18	40.0-70.0	10
Material timbunan (kemiringan talud)	18	10.0 -	5
Material tidak padat	17.5	7	1
Lempung kelanau and <i>clay shale</i>	17.5	105.0	13
<i>Clay Shale</i> padat (keras)	19	25	16

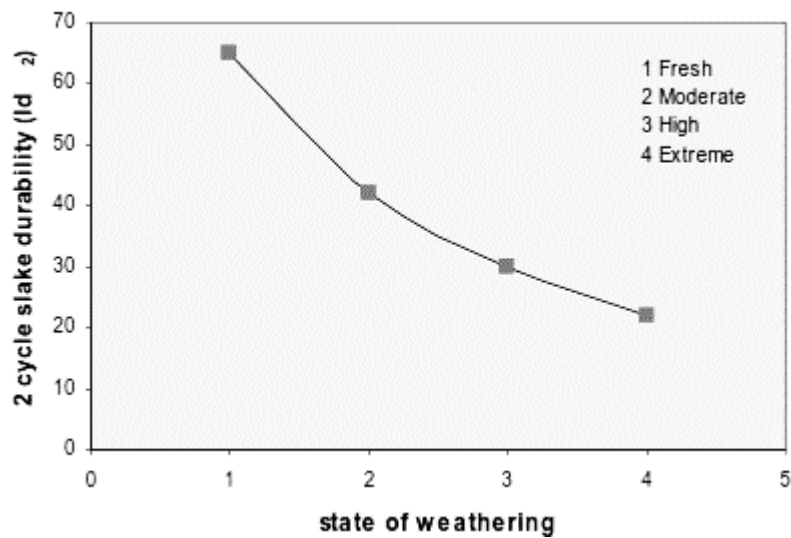
Sumber : Irsyam, 2007

### 2.7.2. *Bringelly Shale*

William (2007), dalam penelitiannya pada *Bringelly Shale* menunjukkan bahwa semakin tinggi derajat pelapukan dan kadar air maka besar nilai UCS dan Indeks ketahanan batuan ( $I_d$ ) semakin menurun. Hasil Pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS) pada *Bringelly Shale* untuk kadar air yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.17. Sedangkan pengaruh terhadap derajat pelapukannya dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.17 Grafik hubungan nilai UCS terhadap kadar air pada *Bringelly Shale* (William, 2007).



Gambar 2.18 Grafik hubungan antara indeks ketahanan batuan dengan derajat pelapukan *Brinelly Shale*(William, 2007).

### 2.7.3. *Pierre Shale*

Siklus pembasahan pengeringan dilakukan oleh Schaefer pada *Shale* yang memiliki kandungan lempung sebesar 48%. Pada Tabel 2.16 diketahui bahwa nilai sudut geser dalam residual mengalami penurunan yang cukup signifikan dari kondisi inisial yaitu dari 11,9° menjadi 5,2°–5,4°.

Tabel 2.16 Sudut geser residual *Pierre Shale* terhadap siklus pengeringan pembasahan

Depth (M)	Depth (ft)	Weather -ing cycle	$\phi_r'$ (°)	$c_r'$ (kPa)	$\phi_r'$ for $c'=0$ (°)
63.0	208	0	6.8	0.7	6.9
63.0	208	1	6.5	~0	6.5
63.0	208	2	6.5	~0	6.3
63.0	208	3	6.0	0.5	6.1
63.0	208	4	5.6	0.1	5.6
63.0	208	5	5.4	~0	5.3
63.6	210	0	6.1	0.2	6.1
63.6	210	1	5.7	0.8	5.9
63.6	210	3	5.4	1.1	5.6
63.6	210	5	5.2	1.3	5.5
70.3	232	0	6.7	0.2	6.7
70.3	232	1	6.4	0.2	6.4
70.3	232	2	6.3	0.3	6.4
70.3	232	3	5.4	1.2	5.7
70.3	232	4	6.3	1.9	6.6
70.3	232	5	6.6	1.0	6.8

Sumber : Schaefer, 2013

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

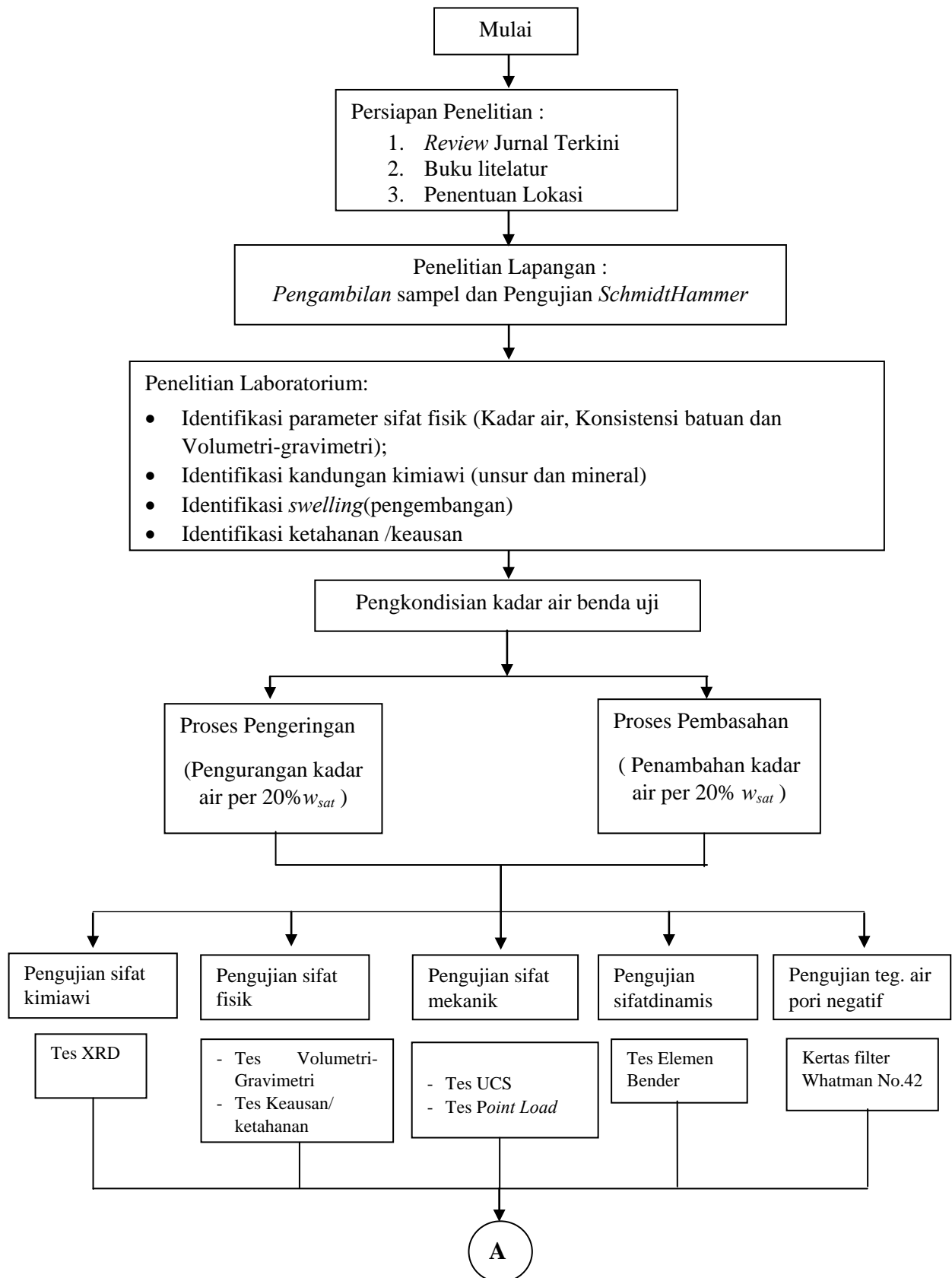
#### **3.1. Pendahuluan**

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental, yang dilakukan di Laboratorium. Penelitian laboratorium yang dilakukan meliputi pengujian sifat-sifat fisik, mekanik, tegangan air pori negatif (*suction*), dan sifat dinamik tanah. Benda uji berupa *clay shale*, di laboratorium dikondisikan kadar airnya dengan cara pengeringan (*drying*) dan pembasahan (*wetting*). Setelah mendapatkan benda uji dengan kadar air yang diinginkan, benda uji diuji sifat mekanis dan dinamisnya.

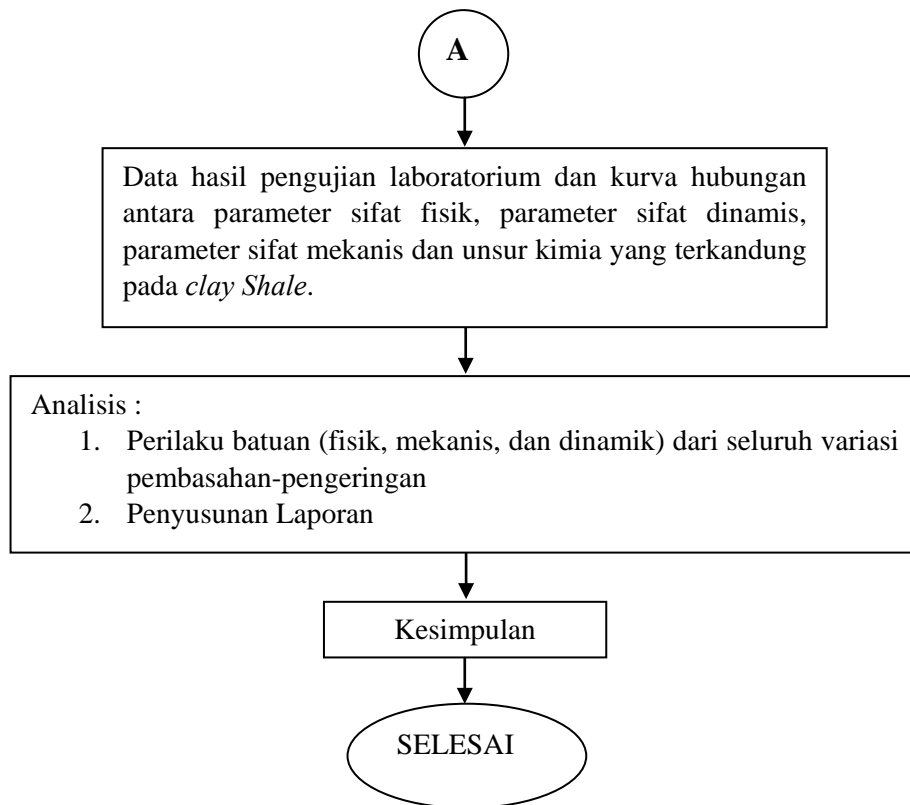
Pengujian sifat-sifat fisik dan mekanik tanah dilakukan dengan menggunakan alat-alat uji standart di laboratorium. Penelitian karakteristik dinamik tanah residual tidak terganggu dilakukan dengan menggunakan alat uji Elemen Bender (*Bender Element Test*), sedangkan tegangan air pori negatif diukur dengan menggunakan kertas filter tipe Whatman no. 42. Untuk melengkapi analisis dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian Difraksi Sinar-X(*X-Ray Diffractometer*) dan *Scanning Electron Microscope*(SEM). Keseluruhan kegiatan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya.

#### **3.2. Langkah – langkah Penelitian**

Untuk mendapatkan hasil-hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka diperlukan langkah-langkah yang tepat, sehingga setiap pekerjaan yang dilakukan dapat berjalan dengan lancar. Jenis pengujian dan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini secara sistematis ditunjukkan pada diagram alir penelitian pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Bagan Alir Rencana Penelitian



Gambar 3.1 Bagan Alir Rencana Penelitian (lanjutan)

### 3.2.1. Pengambilan sampel di Lapangan

Berdasarkan kriteria-kriteria yang ditetapkan, diantaranya, jenis batuan induk, tingkat kesulitan pengambilan sampel, dan biaya, maka dipilih lokasi penelitian yaitu di Kabupaten Tuban. Penelitian dilakukan di area penambangan lempung PT. Semen Indonesia di Desa Meliwang, Kecamatan Kerek Kabupaten Tuban. Lokasi penambangan terletak sejauh 4 km dari pabrik tuban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



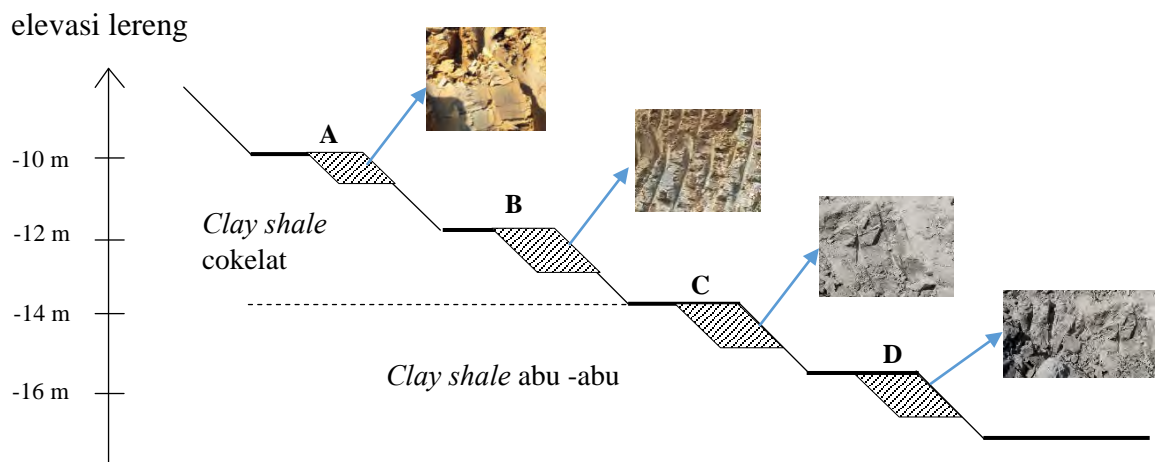


Gambar 3.2 Lokasi Penelitian



Gambar 3.3 Lokasi pengambilan sampel *clay shale* Tuban





Gambar 3.4 Posisi pengambilan sampel *clay shale*



Gambar 3.5 Pengujian *SchmidtHammer* di lokasi.

Tambang terbuka oleh PT. Semen Indonesia dilakukan dengan beberapa jenjang yang memiliki sudut permukaan galian sebesar  $45^\circ$ . Lebar dan tinggi galian adalah masing-masing sebesar 2 m. Pengambilan sampel *clay shale* dilakukan pada saat proses penambangan telah mencapai 16 m. Dari struktur fisik dan visual awal yang dilakukan mulai kedalaman lereng 10 m hingga 16 m diidentifikasi sebagai lapisan *clay shale* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4

Penelitian lapangan yang telah dilakukan berupa pengambilan sampel tanah (*soil sampling*) tidak terganggu dan uji *SchmidtHammer* (Gambar

3.5).Benda uji diambil dengan menggunakan palu dan linggis pada elevasi lereng -10 m, -12 m, -14 m, dan -16 m. Benda uji yang telah diambil berupa blok batuan yang kemudian ditutup dengan menggunakan plastik dan diikat dengan isolasi untuk menjaga kadar air benda uji (Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Proses pembentukan dan penyimpanan benda uji di lapangan.

### 3.2.2. Tahap Persiapan Benda Uji

Adapun langkah-langkah untuk penelitian dilaboratorium ini akan dilaksanakan dengan urutan sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan *sample* yang akan diuji. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat yang tersedia dilaboratorium mekanika tanah dan batuan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
2. Benda uji yang telah diambil pada kedalaman yang telah direncanakan dipotong menjadi blok-blok yang selanjutnya digunakan untuk :
  - Pengujian kadar air lapangan,
  - Pengujian sifat fisik batuan, dari hasil pengujian kadar air dan pengujian sifat fisik dapat ditentukan derajat kejenuhan, kadar air, *specific gravity*, berat volume tanah, angka pori dan porositas,

- Pengujian *Free Swelling*, benda uji dicetak dengan menggunakan cincin konsolidometer. Kemudian diberi tegangan *overburden* dan dibiarkan mengembang hingga konstan pada kondisi jenuh air. Pengujian dilakukan mengacu pada ASTM D4546-03.
  - Pengujian ketahanan/keausan batuan, benda uji dipecah hingga membentuk bongkahan kecil-kecil dengan berat @ 40 – 60 gram, setiap kali pengujian dibutuhkan 10 bongkah dengan berat total 500–600 gram. Kemudian benda uji dimasukkan ke drum pemutar dan diputar dengan kecepatan 20 rpm selama 10 menit. Pengujian dilakukan mengacu pada ASTM D4644-04.
3. Untuk pengujian sifat fisik, mekanik, dan dinamik *clay shale* akibat perlakuan pembasahan-pengeringan, blok benda uji dibentuk dengan menggunakan bor silinder (Gambar 3.7). Dimensi dan jumlah benda uji dibuat sesuai dengan kebutuhan pengujian triaxial, elemen bender, dan *point load*.



Gambar 3.7 Proses pembentukan benda uji

### **3.2.3. Tahap pengujian**

#### **3.2.3.1. Pengujian Sifat Fisik *Clay Shale***

Pengujian sifat fisik adalah pengujian yang ditujukan untuk mengidentifikasi parameter fisik dimana pengujian ini meliputi :

- Pengujian kadar air lapangan,
- Pengujian *volumetri-gravimetri*, dari hasil pengujian kadar air dan pengujian *volumetri-gravimetri* dapat ditentukan derajat kejenuhan,
- *Specific gravity*, berat volume tanah, angka pori dan porositas,
- Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer (ASTM D-422-93),
- Indeks konsistensi (batas-batas *Atterberg*)(ASTM D-4318-95a),

#### **3.2.3.2. Pengujian Sifat Mekanik *Clay Shale***

##### **3.2.2.2.1 Tes *Point Load***

Pengujian *Point load* dilakukan untuk mendapatkan parameter kekuatan *clay shale* berupa *point load* indeks. Pengujian dilakukan mengacu pada ASTM D 5731 - 95 dengan prosedur sebagai berikut :

1. Pembebanan diberikan pada contoh batuan berbentuk silinder yang arah pembebanannya tegak lurus dengan sumbu silinder,
2. Pembebanannya adalah terpusat (*Point Load*).

##### **3.2.2.2.2 Tes *Unconfined compressive Strength* (UCS)**

Pengujian *Unconfined compressive Strength* (UCS) dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat tekan ( $q_u$ ) dan modulus elastisitas ( $E$ ) *clay shale*. Pengujian UCS dilakukan mengacu pada ASTM D 2166 – 00 dengan prosedur sebagai berikut :

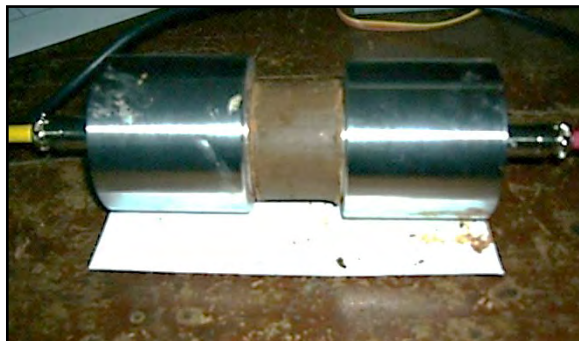
1. Pembebanan diberikan pada contoh batuan berbentuk silinder yang arah pembebanannya sejajar dengan sumbu silinder,
2. Pembebanannya diberikan secara *axial* tanpa adanya tekanan dari sisi samping benda uji.

### 3.2.3.3. Pengujian Sifat Dinamik *Clay Shale*

Penelitian parameter dinamik dilakukan dilaboratorium dengan menggunakan alat uji Elemen Bender (*Bender Element Test*) merk Tico. Spesifikasi benda uji untuk pengujian Elemen Bender adalah silinder berdiameter  $\pm 4$  cm dan tinggi  $\pm 3,00$  cm. Dimensi benda uji elemen bender diseragamkan terhadap pengujian yang lainnya yaitu: Pengujian tegangan air pori negatif, dan pengujian fisis.

Proses pengujian parameter dinamik diawali persiapan benda uji secara lengkap proses pengujian adalah sebagai berikut:

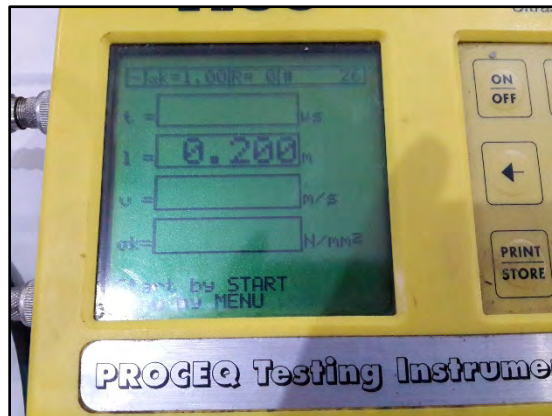
1. Memeriksa alat *Ultrasonic Instrument, transducer*, dan kabel dalam keadaan terpasang sempurna.
2. Menghidupkan alat, kemudian melakukan setting *input* ketinggian sampel sebelum pembacaan pengujian dimulai.
3. Benda uji yang telah dikondisikan kemudian diberi *Sono gely* pada kedua ujungnya pada permukaan tanah sampai permukaan tanah benar-benar rata (tebal  $\pm 1$  mm). Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya rongga antara alat dan permukaan tanah. Letakkan secara perlahan tanah yang akan di uji pada sensor pengirim gelombang geser. Kemudian memasang sensor penerima gelombang pada sisi tanah yang lain. Proses pemasangan dilakukan pada posisi vertikal. Apabila benda uji telah berada pada posisi yang benar, sensor diletakkan pada benda uji telah disediakan. Gambar 3.8 merupakan proses pengukuran benda uji.



Gambar 3.8 Posisi Benda uji dalam proses pengukuran (Sumber : Penelitian).



4. Setelah benda uji diletakkan pada posisi yang benar dan alat telah di *setting* dengan sempurna, dilakukan pengukuran perambatan gelombang. Waktu tempuh gelombang geser dapat diketahui pada layar setelah pengujian selesai (Gambar 3.9). Dengan mengetahui waktu tempuh ( $\Delta t$ ), maka kecepatan rambat gelombang pada benda uji dapat di tentukan.



Gambar 3.9 Hasil pengukuran rambatan gelombang (Sumber : Penelitian).

Dari hasil pengujian kecepatan gelombang longitudinal  $V_p$ , dengan menggunakan alat Elemen Bender Tico, parameter dinamik seperti kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dan modulus elastisitas dapat dihitung. Kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) dihitung dengan persamaan 2.14. Sedangkan besarnya modulus geser dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10.

### 3.2.3.4. Pengujian Karakteristik Mineral *Clay Shale*

#### 3.2.3.4.1. Tes Difraksi sinar X

Untuk menentukan jenis mineral yang dominan maka dilakukan uji Difraksi Sinar X. Dengan uji ini dapat ditentukan mineral-mineral penyusun pada sampel material. Diperlukan sejumlah volume sampel yang relatif sedikit untuk pengujian ini. Benda uji dapat berbentuk padat maupun bubuk, dan diletakkan pada sebuah *ring* berdiameter  $\pm 20$ mm dengan tebal  $\pm 0,5$ mm. Pada penelitian ini, pengujian Difraksi Sinar X dilakukan di Laboratorium *X-Ray Diffractometer*, Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya.

#### **3.2.3.4.2. Tes Mikroskop Pemindai Elektron (SEM)**

Untuk mengetahui lebih detil mengenai struktur mikro tanah maka dilakukan uji Mikroskop Pemindai Elektron (SEM). Dengan uji ini dapat ditentukan bentuk butiran dan ruang pori ada benda uji. Sebelum dilakukan pengujian, sampel berukuran 3 mm x 3 mm x 3 mm di letakkan pada cawan mikroskop, kemudian di vakum selama 3 jam. Setelah itu, benda uji di pindahkan pada *chamber* mikroskop dan siap untuk diuji. Pada penelitian ini, pengujian Mikroskop Pemindai Elektron (SEM) dilakukan di Laboratorium Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya.

#### **3.2.3.5. Pengujian Tegangan Air Pori Negatif dengan Metode Kertas Filter**

Setiap benda uji yang akan dicari besar tegangan air pori negatifnya diberi kertas filter *whatman* berbentuk lingkaran dengan diameter 3 cm. Untuk menghindari kerusakan atau kotor, maka pada pemasangan kertas filter dilapisi kertas filter biasa pada bagian bawah dan bagian atas kertas filter *whatman*.

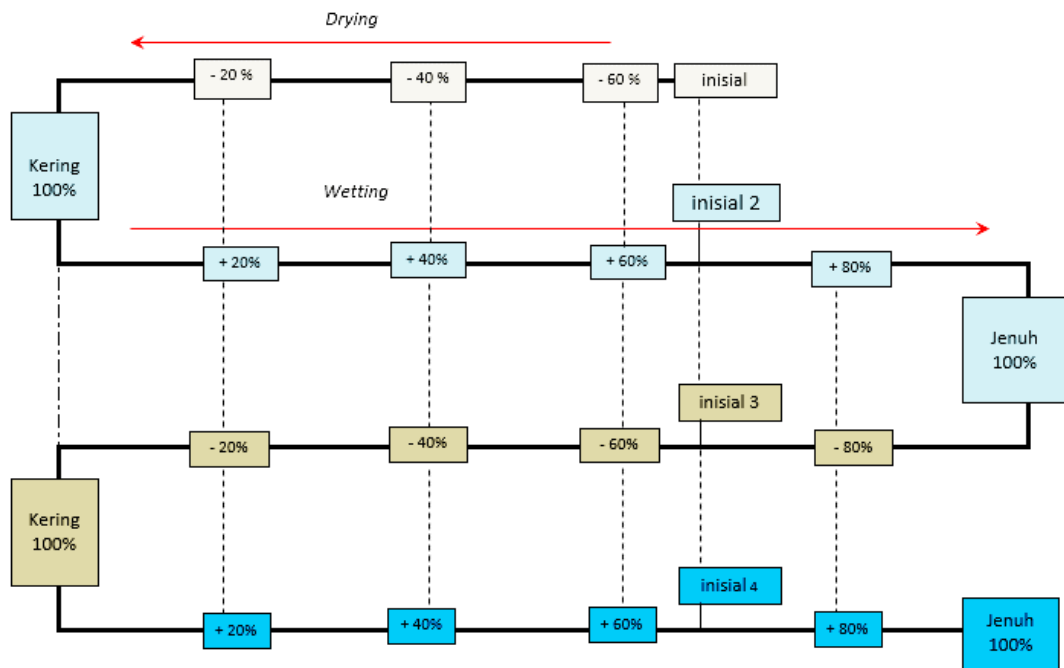
Berat basah kertas filter didapat setelah dilakukan penimbangan kertas filter yang baru dikeluarkan dari benda uji. Penimbangan kertas filter dilakukan segera setelah kertas filter dikeluarkan dari dalam benda uji, untuk menghindari terjadinya penguapan. Di samping itu penimbangan kertas filter dilakukan dengan menggunakan timbangan digital analitis, sehingga hasilnya dapat langsung dibaca. Setelah itu dilakukan pengeringan kertas filter dengan oven untuk mengetahui berat kering kertas filter. Bila berat basah dan berat kering kertas filter sudah diketahui, maka selanjutnya kadar air kertas filter dapat dihitung.

#### **3.2.4. Pengkondisian Kadar Air dan Pembasahan – Pengeringan**

Tahap ini mengkondisikan seluruh persiapan untuk melakukan proses pembasahan-pengeringan dengan jumlah dan dimensi benda uji yang telah ditentukan. Untuk sampel pengujian UCS dan Point load, benda uji dibuat dengan tinggi 8 cm dan diameter 3,8 cm. Sedangkan untuk pengujian volumetri gravimetri, benda uji dibuat dengan tinggi 3 cm dan diameter 3,8 cm. Benda uji berupa tanah tak terganggu (*undisturbed*) yang telah dicetak dikondisikan kadar

airnya dengan cara pengeringan (*drying*) dan pembasahan (*wetting*) secara bertahap dengan menggunakan pipet. Setelah mencapai kondisi kadar air yang diinginkan kemudian benda uji di tes.

Proses siklus pembasahan dan pengeringan dilakukan dengan cara mengurangi kadar air dari kondisi awal ke kondisi kering 100% kemudian ditambahkan air sampai ke kondisi kadar air jenuh 100%. Penambahan air diberikan bertahap sebesar 20% dari kadar air jenuh. Kondisi ini dihitung sebagai 1x siklus. Perlakuan tersebut juga diterapkan untuk pengujian sifat fisik, mekanik, dinamik (elemen bender), dan pengukuran tegangan air pori negatif. Skema siklus pembasahan dan pengeringan dalam 2x (dua kali) siklus dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Skema siklus pengeringan dan pembasahan dalam 2x (dua kali) siklus (Sumber : Penelitian).



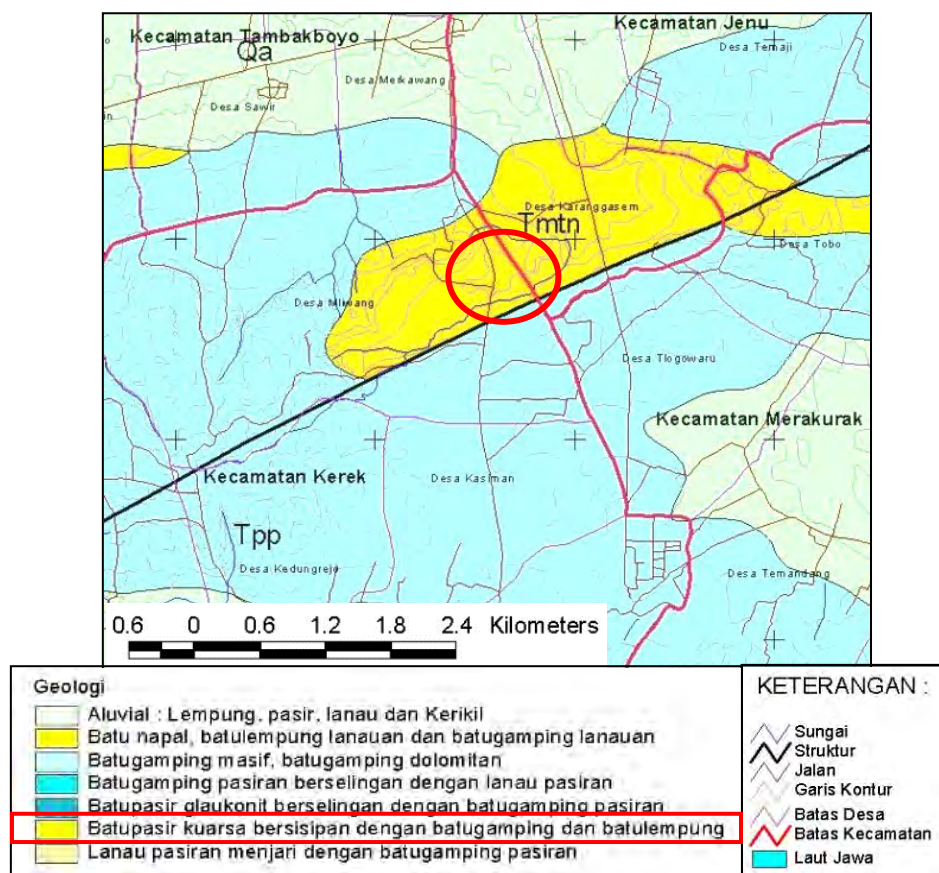
## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian interdepend2 jenis data yang dikumpulkan yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa data geologi batuan lokasi penelitian. Sedangkan untuk data primer didapatkan dari penelitian lapangan dan laboratorium. Data penelitian lapangan berupa pengujian *Schmidt Hammer*, sedangkan data penelitian laboratorium adalah pengujian parameter fisik, mekanik, dinamik, dan kimiawi *clay shale*. Semua data hasil penelitian kemudian dianalisis untuk memahami perilaku statik dan dinamik *clay shale*.

#### 4.1. Batuan Induk Wilayah Studi

Data geologi batuan induk lokasi penelitian yaitu di Kabupaten Tuban dapat dilihat pada gambar 4.1.




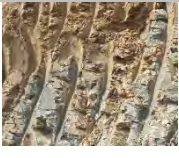


Gambar 4.1 Geologi batuan induk lokasi penelitian Tuban



## 4.2. Karakterisasi Pelapukan

Karakterisasi material dan massa pelapukan *clay shale* di lapangan terdiri dari dua fase, yaitu pengamatan visual secara vertikal dan pengujian *in-situ* dengan *SchmidtHammer*. Berdasarkan sistem klasifikasi Irfan dan Dearman (1978), hasil observasi secara umum terhadap perkembangan derajat pelapukan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Model Klasifikasi Derajat Pelapukan *Clay Shale* Formasi Tuban

Kedalaman (m)	Penampang	Karakterisasi	Kondisi pelapukan /derajat pelapukan
5 -10		Lempung padat, coklat kehitaman, ukuran butir lempung- pasir sedang, rapat, pecah-pecah	Lapuk kuat ( <i>highly weathered</i> ) / IV
10 - 12		Lempung lanauan padat, coklat, abu -abu, <i>fine grain discoloration</i> tipis pada kulit dan bidang rekahan, renggang, lurus, dan tidak terbuka. ukuran butir lempung- pasir sedang,	Lapuk menengah ( <i>Moderately weathered</i> ) / III
12 - 16		Lempung kelanauan padat, abu abu terang, renggang, lurus dan relatif sejajar, kompak	Lapuk menengah ( <i>Moderately weathered</i> ) / III
16 - 30		Lempung lanauan padat, abu abu tua, ukuran butir lempung- pasir sedang, terdapat fragmen batuan pasir,	Lapuk lanjut ( <i>slightly weathered</i> ) / II

Sumber: Hasil penelitian lapangan

Dari Tabel 4.1 diidentifikasi derajat pelapukan pada *clay shale* berdasarkan adanya beberapa efek perubahan pada *clay shale* terhadap kedalaman. Perubahan yang ditemui meliputi perubahan warna, perubahan

intensitas rekahan (*fracture intensity*), serta perubahan tekstur dan struktur *clay shale*. Perubahan yang terjadi akibat pelapukan fisik menghasilkan disintegrasi fisik pada partikel-partikel *clay shale* yang ditandai dengan hancurnya kemas (*fabric*).

Pengujian *in-situ* dengan menggunakan *Schmidt hammer* juga dilakukan untuk mendapatkan parameter kekuatan awal *clay shale*. Hasil pengujian *Schmidt hammer* di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dari Tabel 4.2 dapat dilihat kekerasan dan kekuatan massa *clay shale* berkurang dengan bertambahnya derajat pelapukan. Selain itu, diketahui juga bahwa kekuatan material mengalami penurunan dari derajat pelapukan skala II ke III, artinya faktor pelapukan mempengaruhi sifat keteknikan *Clay shale* yang cukup signifikan.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran *Schmidt hammer* dan *Point Load Clay Shale*

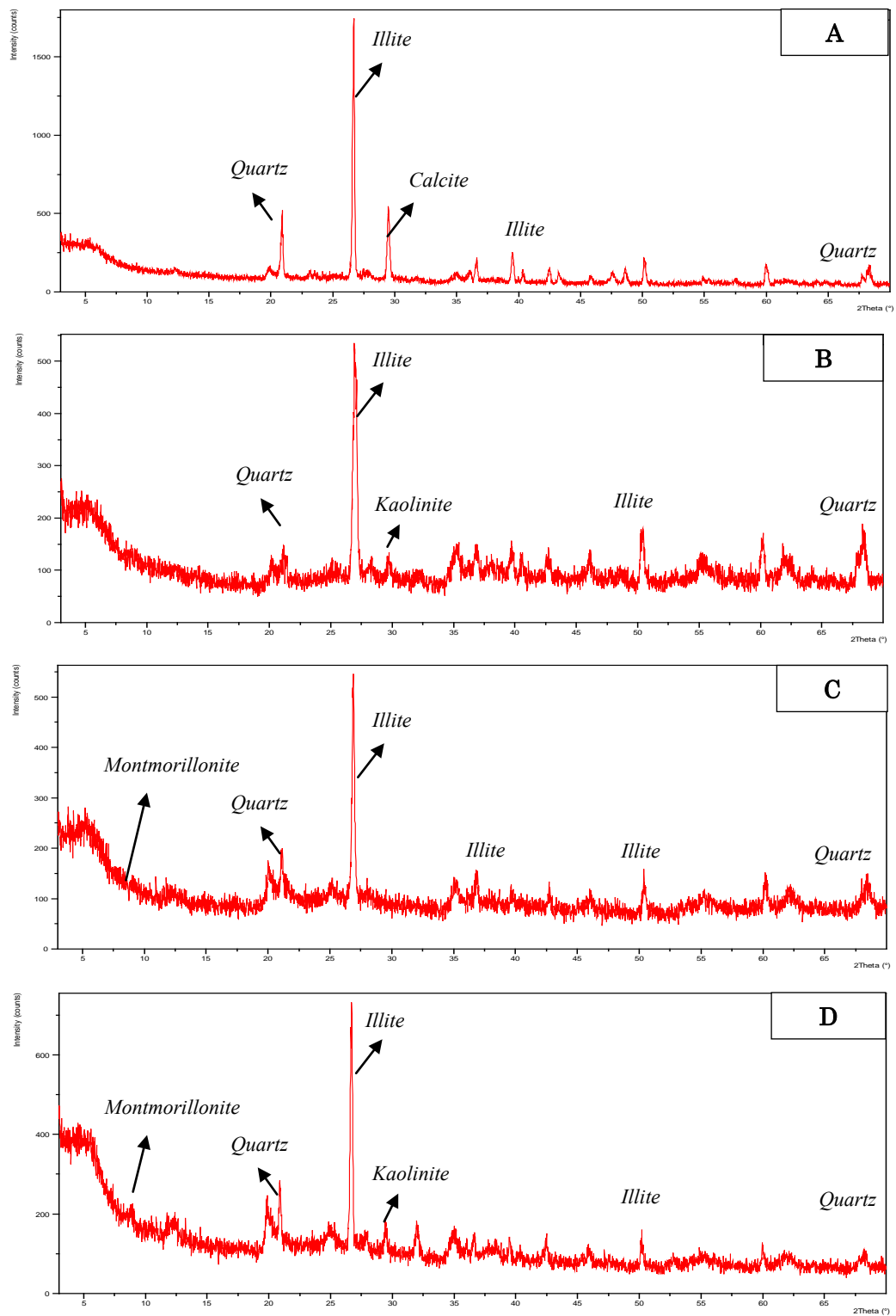
Kedalaman (m)	Derajat Pelapukan	Pengujian <i>Schmidt hammer</i>	
		(kg/cm <sup>2</sup> )	(Mpa)
10	IV	122	11,96
12 - 16	III	132 - 142	12,94 – 13,92
16	II	162	15,88

Sumber: Hasil penelitian lapangan

### 4.3. Komposisi Kimia dan Jenis Mineral Lempung

#### 4.3.1. Hasil Pengujian Difraksi sinar X (XRD)

Identifikasi komposisi kimia dan jenis mineral lempung dilakukan pada sejumlah sampel *clay shale* yang telah disiapkan terlebih dahulu di laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan ITS. Sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*) dari lokasi penelitian diuji Difraksi Sinar X di Teknik Material dan Metalurgi ITS untuk mengetahui jenis mineral lempung pada *clay shale*. Jenis mineral *clay shale* dianalisis berdasarkan intensitas puncak kurva difraksi sinar X dengan menggunakan program Match 2. Hasil uji Difraksi Sinar X *clay shale* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil pengujian Difraksi Sinar X clay shale kondisi inisial  
 (A) kedalaman 10 m; (B) clay shale kedalaman 12 m;  
 (C) kedalaman 14 m; (D) clay shale kedalaman 16 m  
 (Sumber : Hasil penelitian)

Hasil pengujian Difraksi Sinar X *clay shale* Tuban pada kedalaman lereng 10 m ( Gambar 4.3A) menunjukkan pada posisi puncak  $2\theta = 26,789^\circ$  didapatkan  $d_{001} = 3.32\text{\AA}$ , puncak ini diidentifikasi sebagai mineral *illite*. Pada posisi puncak yang lain puncak  $2\theta = 31.227^\circ$  di dapatkan  $d = 2.862\text{\AA}$ , puncak ini juga diidentifikasi sebagai mineral *illite*. Dengan cara yang sama diidentifikasi puncak-puncak yang lain, terlihat bahwa mineral *kaolinite* dan *montmorillonite* juga terdeteksi beberapa kali dengan intensitas yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa *clay shale* pada kedalaman 10 m (cokelat) dominan mengandung mineral *illite* dan *kaolinite*.

Hasil uji Difraksi Sinar X sampel *clay shale* abu-abu (kedalaman 12 m) pada Gambar 4.3B menunjukkan bahwa kandungan mineral lempung yang terdapat dalam *clay shale* adalah *illite* dan *kaolinite*. Mineral lempung *kaolinite* beberapa terdeteksi saat pengujian, sedangkan mineral *illite* terdeteksi lebih sedikitakan tetapi dengan intensitas yang sangat tinggi. *Montmorillonite* juga terdeteksi dengan persentase terkecil yaitu sebesar 0,7%. Ini menunjukkan bahwa jenis mineral lempung yang dominan pada *clay shale* abu -abu adalah *illite* dan *kaolinite*.

Hasil pengujian Difraksi Sinar X *clay shale* kedalaman 14 m (Gambar 4.3C) didapatkan bahwa kandungan mineral lempung dominan adalah *illite*. Dari hasil pengujian ini terlihat mineral *illite* terdeteksi mulai dari awal (pada sudut  $3^\circ$ ) sampai dengan akhir pengujian (pada sudut  $70^\circ$ ). *Montmorillonite* terdeteksi pada posisi puncak  $2\theta = 14\text{\AA}$ . Berbeda dengan kedalaman yang lain, *kaolinite* tidak terdeteksi pada *clay shale* kedalaman 14m. Pada Gambar 4.3D juga menunjukkan bahwa kandungan mineral lempung yang terdapat dalam *clay shale* kedalaman 16 m adalah *illite*, *montmorillonite* dan *kaolinite*.

Selain mineral lempung atau *phyllosilicates*, mineral non lempung seperti *quartz* dan *carbonate* juga diidentifikasi komposisinya. Dari Tabel 4.3 terlihat tiap kedalaman *clay shale* yang diuji mempunyai komposisi mineral yang hampir sama yaitu tersusun atas mineral lempung (*phyllosilicates*) dan *quartz*. Mineral *carbonate* hanya terkandung dalam *clay shale* pada kedalaman 10 m. *Clay shale* pada kedalaman 14 dan 16 m mempunyai kandungan mineral lempung lebih banyak dibandingkan *clay shale* kedalaman 10 m. Akan tetapi untuk mineral

*quartz*, terlihat bahwa tanah *clay shale* kedalaman 14 m mempunyai kandungan yang paling tinggi. Hasil analisis persentase kandungan mineral *clay shale* untuk tiap kedalaman yang diuji dapat dilihat pada Tabel 4.3.

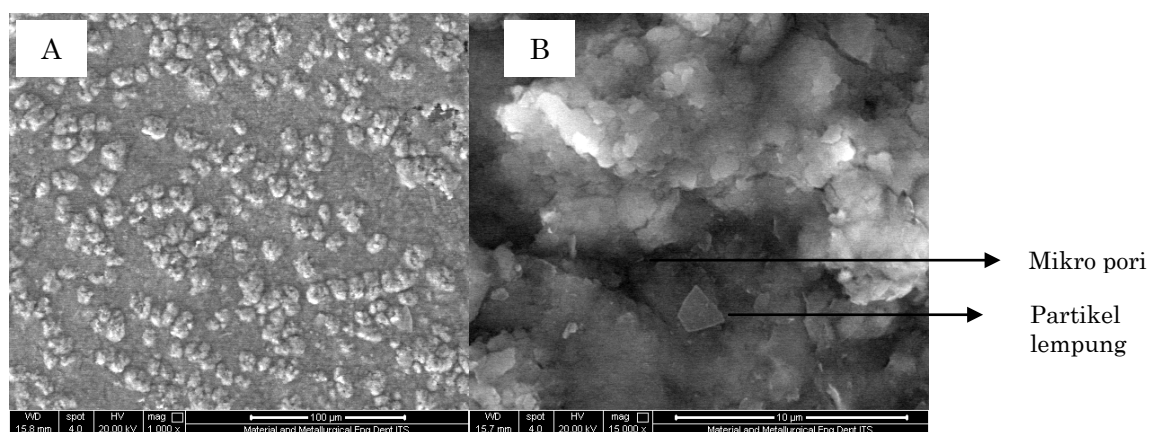
Tabel 4.3. Jenis Komposisi Kimia *Clay Shale* yang Diteliti

		Komposisi Mineral (%)			
		kedalaman 10	kedalaman 12	kedalaman 14	kedalaman 16
Mineral lempung ( <i>phyllosilicates</i> )	<i>Kaolinite</i>	19.1	25.2	-	18.4
	<i>illite</i>	31.4	49.7	61.7	66.6
	<i>montmollonite</i>	1.9	0.7	2	0.9
Mineral bukan lempung	<i>calcite</i>	18	-	-	-
	<i>Quartz</i>	29.6	24.4	36.3	14.2
	<i>feldspar</i>	-	-	-	-

Sumber: Hasil uji laboratorium

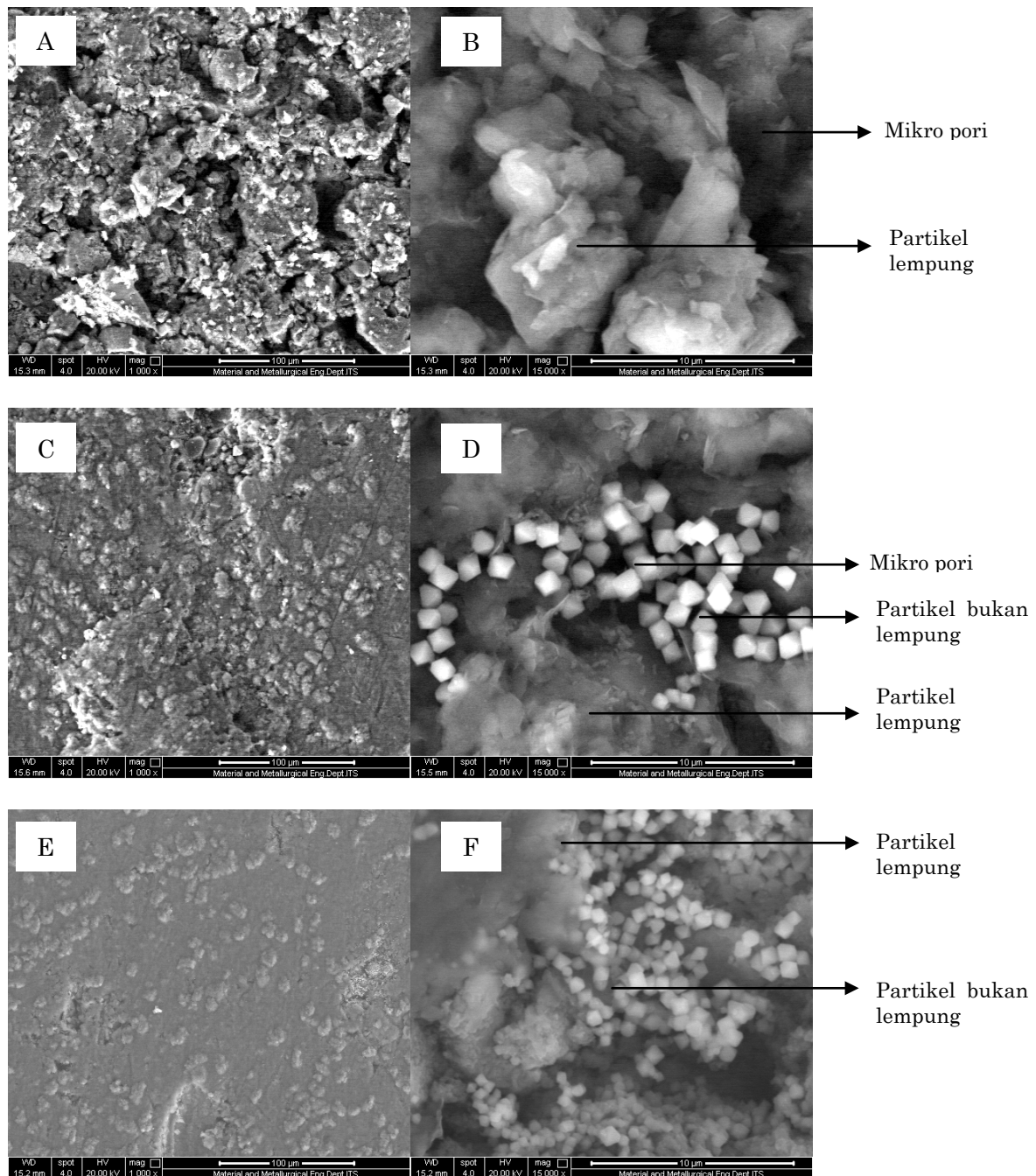
#### 4.3.2. Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscopic* (SEM)

Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscopic* (SEM) digunakan untuk mengidentifikasi jenis mineral secara deskriptif berdasarkan kemiripan morfologi mineral penyusunnya. Selain itu dari hasil SEM juga dapat diketahui kepadatan dari organisasi partikel, arah atau orientasi partikel dan ruang pori. Hasil *Scanning Electron Microscopic* (SEM) dan EDX *clay shale* dalam kondisi inisial dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil analisa *Scanning Electron Microscopic* (SEM) kedalaman 10 m (A) *clay shale* (pembesaran 1000x); (B) *clay shale* (pembesaran 15000x)(Sumber : Hasil Penelitian)





Gambar 4.5 Hasil *Scanning Electron Microscopic* (SEM) kondisi initial (A) *clay shale* kedalaman 12 m (pembesaran 1000x); (B) *clay shale* kedalaman 12 m (pembesaran 15000x); (C) *clay shale* kedalaman 14 m (pembesaran 1000x); (D) *clay shale* kedalaman 14 m (pembesaran 15000x); (E) *clay shale* kedalaman 16 m (pembesaran 1000x); (F) *clay shale* kedalaman 16 m (pembesaran 15000x);



Dari Gambar 4.4A, kepadatan *clay shale* dapat diidentifikasi dengan melihat intensitas ruang pori (mikropori) yang ditandai dengan warna hitam pada foto. Sedangkan bagian yang berwarna putih menunjukkan bentuk dan orientasi partikel penyusun *clay shale*. Dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5, secara umum dapat dilihat adanya perbedaan kepadatan. Kepadatan partikel lempung *clay shale* bertambah seiring dengan kedalaman. *Clay shale* pada kedalaman 12 m memiliki ruang pori yang paling besar dibandingkan dengan kedalaman lereng yang lain.

Dari Gambar 4.5A pada pembesaran 15000x dilihat bahwa untuk *clay shale* cokelat memiliki mineral *illite* yang berbentuk gumpalan memanjang. Ditemukan juga mineral *kaolinite* yang berbentuk heksagonal yang bertumpuk-tumpuk. Untuk *clay shale* kedalaman lereng 12 m (Gambar 4.5B) juga diidentifikasi bentuk partikel seperti bunga, tipis dan bertumpuk tumpuk. Hal ini menunjukkan bahwa mineral penyusunya adalah campuran *illite*, *kaolinite*, dan *montmorillonite*. Pada *clay shale* kedalaman lereng 14 m, terdapat senyawa Molibdenum oksida (Mo) yang berbentuk prisma yang mengisi mikropori. Bentuk partikel seperti bunga atau sarang lebah juga terlihat sebagai ciri bentuk mineral *montmorillonite*. Pada kedalaman lereng 16 m, juga terlihat partikel lempung *montmorillonite* dan *illite* yang berbentuk seperti bunga memanjang dan beberapa menggumpal. Molibdenum oksida (Mo) terdeteksi lebih banyak dengan ukuran yang lebih kecil (Gambar 4.5D).

Identifikasi mineral yang terkandung juga dikuatkan dengan data pengujian EDX. Dari Hasil pengujian EDX, dapat dilihat kandungan unsur – unsur penyusun utama mineral dan persentasinya. Hasil pengujian EDX *clay shale* untuk tiap kedalaman uji dapat dilihat pada Tabel 4.4. Dari Tabel 4.4, unsur penyusun mineral rata-rata *clay shale* untuk semua kedalaman uji antara lain adalah Si, Al, Mg, Na, Ca, O, Fe, K dan Mo. Unsur H tidak dapat terdeteksi oleh alat uji karena sensitivitas SEM/EDX tidak mampu mengidentifikasi unsur H (*light element*). Berdasarkan hasil EDX, *clay shale* pada kedalaman 12 m memiliki persentase unsur Silika (Si) terbesar yaitu 26,91 %. Sedangkan Konsentrasi atomik Mo terbesar ditemui pada *clay shale* kedalaman 16 m sebesar 14,56 %.

Dengan mengetahui unsur penyusun utama yang didapat dari hasil EDX, maka dapat diketahui kesesuaiannya dengan rumus pembentuk mineral lempung. Rumus molekul *illite* adalah:  $(K,H_2O)_2Si_8(Al,Mg,Fe)_4O_{20}(OH)_4$ , rumus molekul *kaolinite* adalah :  $(OH)_8(Si)_4Al_4O_{10}$ , dan rumus molekul *montmorillonite* adalah  $(OH)_4Si_8(Al_{3.34}Mg_{0.66})O_{20}nH_2O$ . Unsur penyusun mineral dominan *clay shale* Si, Al, Mg, Na, O, Fe, dan K menunjukkan bahwa *clay shale* Tuban mengandung mineral lempung *illite*, *kaolinite*, dan *montmorillonite*.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kandungan Kimia *Clay Shale* Tuban

Unsur	Persentase unsur(%)			
<i>Carbon ( C )</i>	-	-	-	3.17
<i>Oksigen ( O )</i>	44.09	44.29	51.09	40.56
<i>Natrium ( Na )</i>	-	1.02	0.94	-
<i>Fluor ( F )</i>	2.18	-	-	2.01
<i>Magnesium ( Mg )</i>	1.62	1.09	1.5	1.21
<i>Aluminium ( Al )</i>	9.65	10.31	-	9.21
<i>Silika ( Si )</i>	19.55	26.91	24.78	17.07
<i>Molibden ( Mo )</i>	13.46	5.08	12.52	14.56
<i>Kalium ( K )</i>	-	2.82	1.61	1.43
<i>Calcium ( Ca )</i>	5	5.5	4.22	7.67
<i>(Ferrum) ( Fe )</i>	4.46	2.97	3.35	3.11

( Sumber : Hasil Pengujian)

#### 4.4. Identifikasi *Clay shale*

##### 4.4.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Kondisi Awal

Penelitian sifat fisik dilakukan pada *clay shale* Tuban dimana sampel diambil pada mukalereng 10 m sampai 16 m. Hasil pengujian sifat fisik, analisis saringan dan hidrometer, serta batas-batas konsistensi *clay shale* Tuban dapat dilihat dalam Tabel 4.5. Dari Tabel 4.5, klasifikasi berdasarkan kandungan lempung menunjukkan bahwa *clay shale* Tuban masuk dalam kelompok *compacted clayey shale* (Tabel 2.5). Sampel *clay shale* Tuban di ambil pada akhir musim penghujan bulan Maret tahun 2014.

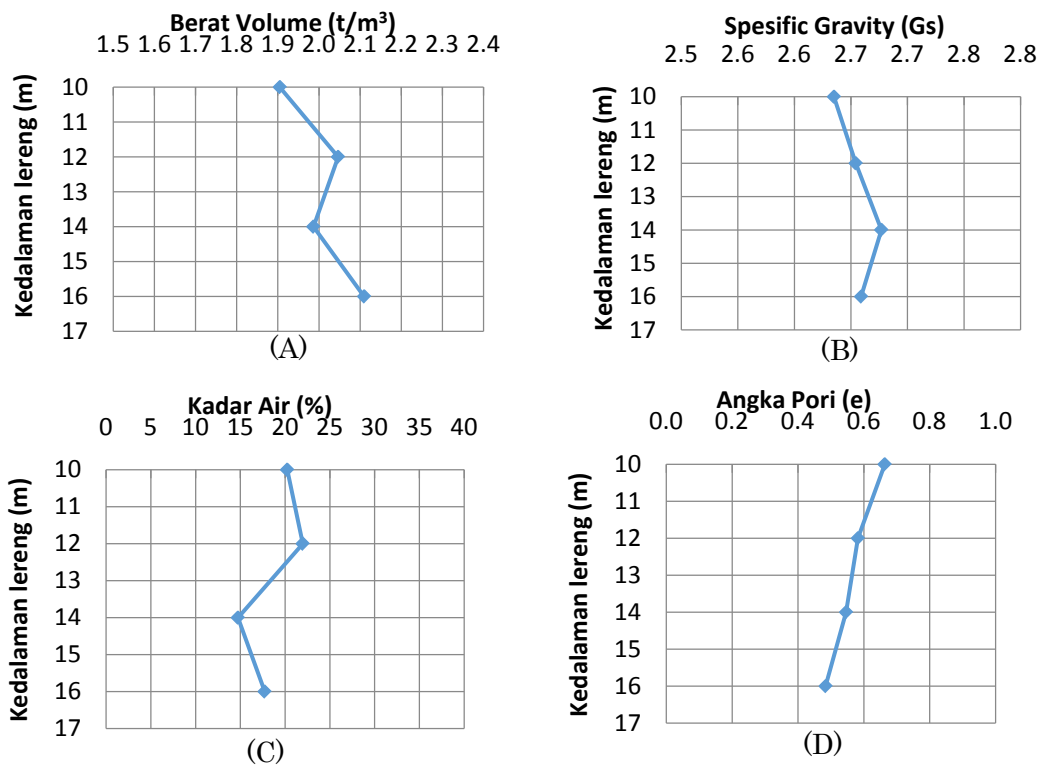
Tabel 4.5 Hasil Uji Sifat Fisik *Clay Shale*

Jenis Pengujian	Posisi Lereng			
	A (-10 m)	B (-12 m)	C (-14 m)	D (-16 m)
<b>Gravimetri dan Volumetri</b>				
1. Berat Spesifik, $G_s$	2.635	2.654	2.672	2.659
2. Kadar Air, $w$ (%)	20.242	21.975	15.638	17.721
3. Berat Volume Tanah, $\gamma_t$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.905	2.047	1.986	2.110
4. Berat Volume Kering, $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.584	1.672	1.717	1.792
5. Angka Pori, $e$	0.663	0.582	0.556	0.484
6. Derajat Kejenuhan, $S_r$ (%)	80.399	100	75.165	97.407
<b>Analisa Saringan dan Hidrometer</b>				
1. Fraksi Kerikil ( <i>gravel</i> ) (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
2. Fraksi Pasir ( <i>sand</i> ) (%)	0.37	0.57	0.93	0.74
3. Fraksi Lanau ( <i>silt</i> ) (%)	11.00	27.29	41.95	44.00
4. Fraksi Lempung ( <i>clay</i> ) (%)	88.63	72.14	57.12	55.26
<b>Konsistensi</b>				
1. Batas Cair ( $LL$ ) (%)	88.55	77.76	70.81	66.47
2. Batas Plastis ( $PL$ ) (%)	29.39	27.10	24.18	21.13
3. Indeks Plastis ( $PI$ ) (%)	59.17	50.66	46.63	45.34
<b>Klasifikasi</b> Farrokhrouz dan Asef (2013) (Tabel 2.5)	<i>Clayey shale</i>	<i>Clayey shale</i>	<i>Clayey shale</i>	<i>Clayey shale</i>

Sumber: Hasil penelitian laboratorium

Hasil penelitian batas-batas plastis (Tabel 4.5) menunjukkan bahwa *clay shale* Tuban mempunyai indeks plastisitas yang cukup tinggi (berkisar antara 40% sampai 60%). Dari tabel juga terlihat *clay shale* pada kedalaman lereng 10 m (cokelat) yang mempunyai kandungan lempung lebih banyak memiliki nilai batas plastis yang paling tinggi. Perbedaan nilai plastisitas ini disebabkan oleh jumlah kandungan partikel lempung dan jenis mineral penyusun yang terkandung dalam *clay shale*. Dari pengujian secara umum terlihat adanya kenaikan indeks plastisitas tanah seiring kenaikan jumlah partikel lempung dalam *clay shale*. Seperti yang disampaikan Das (2002) pada Tabel 2.3, jenis kelompok mineral *illite* dan *montmorilloite* mempunyai batas cair dan indeks plastisitas yang lebih tinggi dibandingkan jenis mineral *kaolinite*.

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat hasil penelitian berupa hubungan antara berat volume, angka pori, dan berat jenis *clay shale* terhadap kedalaman lereng yang diuji. Berat jenis ( $G_s$ ) *clay shale* Tuban memiliki rentang sebesar 2,63 - 2,67 untuk semua kedalaman lereng yang diuji. Dari Gambar 4.6A menunjukkan bahwa *clay shale* pada lereng kedalaman 16 m mempunyai berat volume terbesar. Kepadatan *clay shale* bertambah seiring dengan kedalaman lereng. Hal ini ditunjukkan dari nilai angka pori yang semakin mengecil (Gambar 4.6D). Akan tetapi *clay shale* pada lereng kedalaman 12 m memiliki kadar air terbesar yaitu sebesar 21,76 %.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan parameter fisik *clay shale* (A) dengan kedalaman lereng. (Sumber: Hasil penelitian)

#### 4.4.2. Hasil pengujian Keausan / Durabilitas

Pengujian keausan batuan dilakukan untuk mengetahui tingkat keausan dan ketahanan *clay shale* terhadap air dan pelapukan dalam beberapa siklus. Hasil pengujian keausan batuan pada lokasi studi dapat dilihat pada Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Durabilitas *Clay Shale*

Jenis Pengujian	Posisi Lereng			
	A (-10 m)	B (-12 m)	C (-14 m)	D (-16 m)
1. Kadar Air, ( $w$ )(%)	20.242	21.975	14.735	17.721
2. Berat Volume, ( $\gamma_t$ ) (gr/cm <sup>3</sup> )	1.905	2.047	1.987	2.110
3. Indeks Ketahanan (siklus 2), ( $I_{d(2)}$ )	21.05	22.66	21.71	22.5
Klasifikasi Gamble (Tabel 2.7)	<i>Very low durability</i>	<i>Very low durability</i>	<i>Very low durability</i>	<i>Very low durability</i>

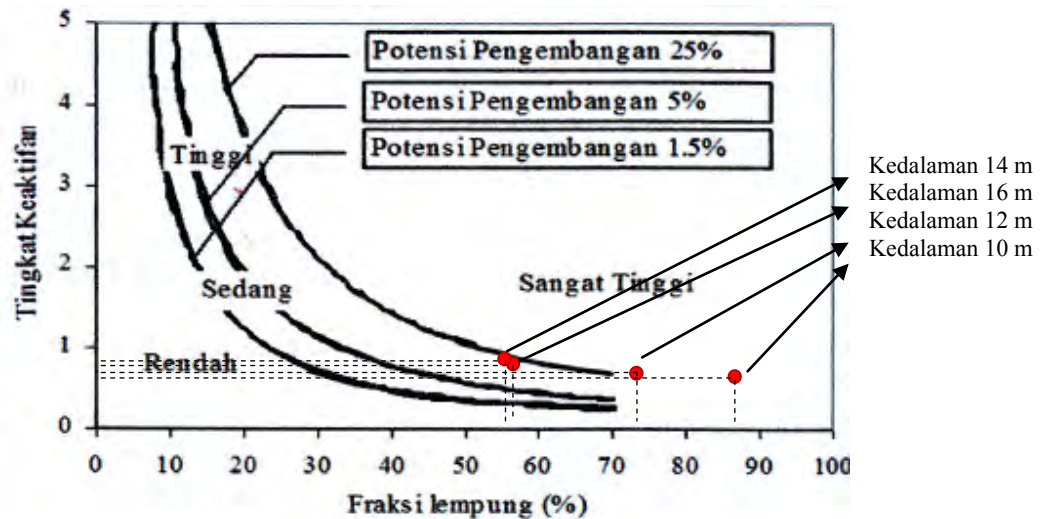
Sumber: hasil penelitian

Dari Tabel 4.6, ditinjau pada kedalaman lereng terlihat bahwa besarnya indeks keausan *clay shale* Tuban untuk kedalaman lereng 10 sampai 16 m menunjukkan nilai yang hampir sama. Untuk kedalaman 16 m, *clay shale* memiliki nilai indeks keausan ( $I_d$ ) sebesar 22,6 % yaitu dalam kisaran 60 – 85%. Berdasarkan Tabel 2.7, maka *clay shale* Tuban masuk dalam kategori ketahanan sangat rendah (*very low durability*). Hal ini menunjukkan bahwa tingkat keausan batuan *clay shale* Tuban terhadap pelapukan sangat rendah. Indeks keausan turun menjadi kategori *low durability* hanya dengan satu siklus, kemudian menjadi kategori *very low durability* setelah siklus kedua. Ini berlaku baik untuk semua kedalaman lereng yang diuji.

#### 4.4.3. Hasil Pengujian Pengembangan *Swelling Potential*

Hasil analisis besarnya *Swelling Potential clay shale* dilakukan dengan pengujian di laboratorium dan dengan korelasi parameter pendukung dengan tabel klasifikasi dari berbagai peneliti. Hasil analisa butir juga digunakan untuk identifikasi aktivitas (*activity*) dan potensi pengembangan (*swelling potential*) dari *clay shale* Tuban. Skempton (1935) mendefinisikan aktivitas sebagai perbandingan antara plastisitas indeks dan persen butiran yang lolos ayakan 2 $\mu$ m. Potensi pengembangan kemudian dapat ditentukan dengan menggunakan nomogram dari Nelson dan Miller (1991).

Hasil perhitungan nilai aktivitas menunjukkan *clay shale* pada kedalaman lereng 10 m, 12 m, 14 m, dan 16 m mempunyai nilai *A* berturut turut sebesar 1,21 ; 0,51 ; 0,7 dan 0.9. Dengan menggunakan Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa *clay shale* Tuban mempunyai potensi pengembangan tinggi untuk semua kedalaman lereng yang diuji.



Gambar 4.7 Hubungan fraksi lempung dengan tingkat keaktifan tanah (Sumber: Nelson dan Miller, 1991)

Selain itu, pengujian *Swelling Potential* *clay shale* Tuban dilakukan dengan menggunakan cincin konsolidometer dengan pemberian tegangan *overburden* di laboratorium. Tegangan *overburden* yang diberikan berdasarkan asumsi perhitungan kedalaman dan berat volume di tiap kedalaman lereng. Hasil pengujian *swelling potential* *clay shale* dan klasifikasi pengembangannya dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Swelling Potential Clay Shale* dan Klasifikasi Pengembangannya

Jenis Pengujian	Posisi Lereng			
	A (-10 m)	B (-12 m)	C (-14 m)	D (-16 m)
Kadar Air, (w)(%)	20.242	21.975	14.735	17.721
Kadar lempung (%)	88.63	72.14	57.12	55.26
Indeks Plastisitas (PI) (%)	59.17	50.66	46.63	45.34
Aktivitas (A)	1.21	0.51	0.7	0.9
Tegangan <i>overburden</i> (t/m <sup>2</sup> )	19.05	23.144	27.116	31.336
<i>Swelling Potential</i> (%)	1.79	1.98	1.24	1.42
<b>Klasifikasi pengembangan</b>				
. Snethen (1977)	tinggi	tinggi	sedang	sedang
. Chen(1975)	Sangat tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi
. Nelson dan Miller(1991)	tinggi	tinggi	tinggi	tinggi
. Holtz dan Gibbs(1974)	Sangat tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi

Sumber : Hasil Penelitian

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat tingkat pengembangan *clay shale* dengan hasil klasifikasi yang berbeda- beda. berdasarkan Holtz dan Gibbs(1974) dan Chen(1975) memberikan hasil yang sama berdasarkan nilai indeks plastis (PI) (> 35 %), Batas cair (>60%) untuk tiap kedalaman lereng. Berdasarkan Tabel 2.10 dan Tabel 2.11 mengindikasikan *clay shale* Tuban berpotensi mengalami pengembangan yang sangat tinggi. Sedangkan untuk klasifikasi berdasarkan Nelson dan miller (1991), *clay shale* masuk dalam kategori pengembangan sedang sampai tinggi karena memperhitungkan nilai aktivitas lempungnya.

Dari pengujian *swelling potential* di laboratorium dapat dilihat tingkat pengembangan *clay shale* tertinggi sebesar 1,98% yang terjadi pada kedalaman lereng 12 m. Klasifikasi berdasarkan Snethen(1977) memberikan hasil yang cukup baik karena mengkondisikan pengembangan yang terjadi di lapangan. Kadar lempung *clay shale* yang lebih tinggi juga menghasilkan tingkat pengembangan yang tinggi.

Persentase *montmorillonite* sebagai mineral ekspansif sangat mempengaruhi derajat pengembangan yang terjadi. Berdasarkan Tabel 2.4 kandungan mineral lempung *montmorillonite* mempunyai *specific surface* 840 ( $\text{m}^2/\text{gr}$ ) lebih besar dari pada mineral lempung *kaolinite* yang mempunyai *specific surface* 20 ( $\text{m}^2/\text{gr}$ ). *Specific surface* yang tinggi mampu menyerap air lebih banyak. Selain itu, *montmorillonite* juga memiliki kapasitas pertukaran kation (CEC) tinggi sehingga memiliki kemampuan kembang susut yang besar. Pada *clay shale* kedalaman lereng 10 m, kandungan *montmorillonite* sebesar 1,9% dapat menghasilkan potensi pengembangan yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa adanya *montmorillonite* pada *clay shale* Tuban dapat memberikan pengembangan yang cukup signifikan walaupun dengan persentase yang kecil.

#### 4.4.4. Hasil Pengujian Sifat Mekanik Kondisi Awal

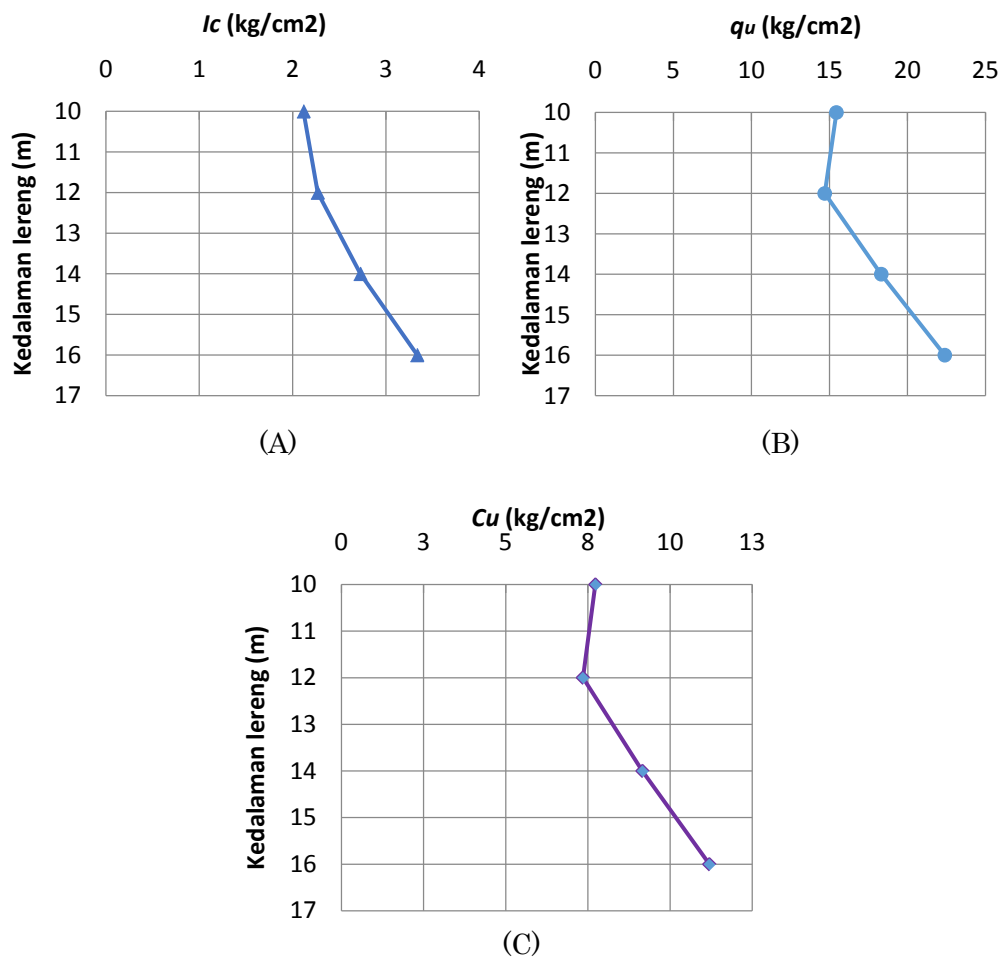
Hasil pengujian sifat mekanik berupa pengujian *unconfined compression Strength* (UCS) dan *point load* dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat tekan *clay shale* Tuban. Hasil pengujian UCS dan *point load* untuk tiap kedalaman *clay shale* dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.8.

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Sifat Mekanik *Clay Shale*

Jenis Pengujian	Posisi Lereng			
	A (-10 m)	B (-12 m)	C (-14 m)	D (-16 m)
1. Kadar Air, ( $w$ )(%)	20.242	21.975	14.735	17.721
2. Berat Volume Tanah, ( $\gamma_t$ ) ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1.905	2.047	1.987	2.110
3. <b><i>Unconfined Compression Strength</i> (UCS)</b>				
. $qu$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	15.449	14.697	18.313	22.390
. $cu$ ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	7.724	7.348	9.156	11.195
. Konsistensi	keras	keras	keras	keras
4. <b><i>Point Load</i></b>				
. <i>Point Load Index</i> ( $I_c$ ) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	2.11	2.27	2.726	3.335

Sumber: hasil penelitian





Gambar 4.8 Grafik hubungan parameter mekanik (A) *Point load* Indeks; (B) kuat tekan; (C) Kohesi *clay shale* terhadap kedalaman.  
(Sumber: Hasil penelitian)

Dari Gambar 4.8B terlihat bahwa kekuatan *clay shale* sampai kedalaman lereng 16 m mengalami peningkatan mencapai 22,390 kg/cm<sup>2</sup>. Besarnya nilai kuat tekan *clay shale* juga diikuti dengan meningkatnya kohesi undrain seiring dengan kedalaman lereng yang diuji. Pada kedalaman lereng 16 m, *clay shale* Tuban memiliki kohesi sebesar 11,195 kg/cm<sup>2</sup> (Gambar 4.8C). Berdasarkan nilai kuat tekan ( $q_u$ ) *clay shale* tiap kedalaman lereng yang diuji diklasifikasikan sebagai lempung keras (*Hard clay*). Hasil ini sesuai dengan nilai *Point Load Index* ( $I_c$ ) dari *clay shale* Tuban yang juga meningkat terhadap kedalaman.

Dari Gambar 4.8A juga dapat dilihat besarnya nilai indeks kekuatan batuan ( $I_c$ ) tertinggi sebesar 3,33 kg/cm<sup>2</sup> (0,33 Mpa). Berdasarkan klasifikasi

kekuatan batuan, *clay shale* Tuban diklasifikasikan sebagai batuan lunak ( $I_c < 1 \text{ Mpa}$ ). Peningkatan kuat tekan ( $qu$ ) juga diikuti dengan peningkatan kohesi *undrained clay shale*. Nilai kohesi terbesar diperoleh pada kedalaman lereng 16 m yaitu sebesar  $11,195 \text{ kg/cm}^2$ . Besarnya kuat tekan, kohesi dan indeks kekuatan *clay shale* dipengaruhi oleh kepadatan dan kadar air awal *clay shale*. Dari hasil pengujian terlihat bahwa *clay shale* yang memiliki berat volume yang tinggi mempunyai kuat tekan ( $qu$ ) dan *Point Load Index* ( $I_c$ ) yang tinggi. Faktor pelapukan dan kadar air juga mempengaruhi besarnya parameter mekanis *clay shale*.

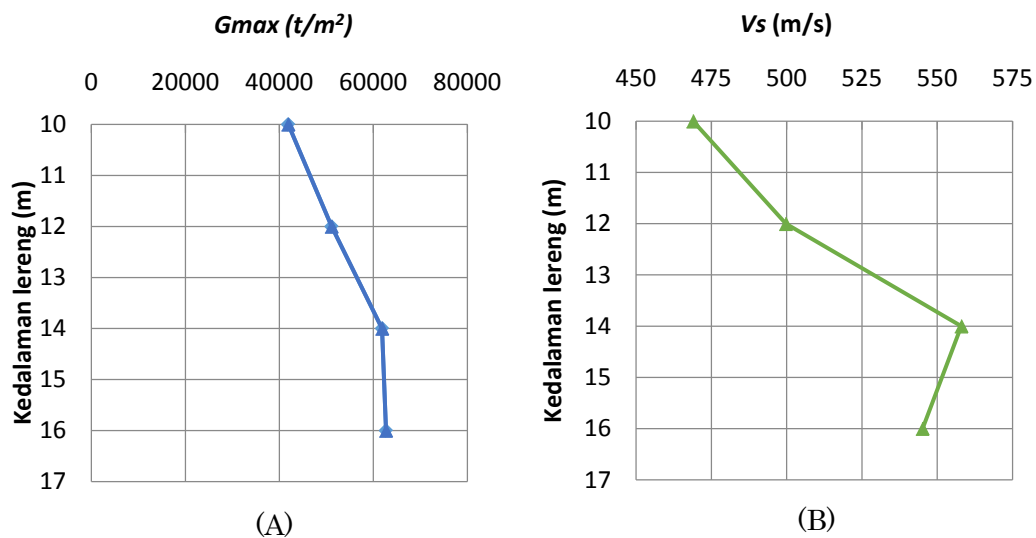
#### 4.4.5. Hasil Pengujian Sifat Dinamik Kondisi Awal

Pengujian dinamik dilakukan untuk memperoleh modulus geser maksimum ( $G_{\max}$ ) *clay shale* dengan menggunakan alat uji Elemen Bender merk Tico di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan, Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS. Prinsip kerja dari alat elemen bender adalah berdasarkan perambatan gelombang sehingga sangat ditentukan dari kerapatan dan kepadatan benda uji. Hasil pengujian sifat dinamik *clay shale* dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Sifat Dinamik *Clay Shale*

Jenis Pengujian	Lereng Kedalaman 10 m	Lereng Kedalaman 12 m	Lereng Kedalaman 14 m	Lereng Kedalaman 16 m
1. Kadar Air, ( $w$ )(%)	20.242	21.975	14.735	17.721
3. Berat Volume Tanah, ( $\gamma_t$ ) ( $\text{gr/cm}^3$ )	1.905	2.047	1.987	2.110
4. Angka Pori, ( $e$ )	0.663	0.582	0.546	0.484
5. Fraksi Lempung ( <i>clay</i> ) (%)	88.63	72.14	57.12	55.26
6. Kecepatan Gel P, ( $V_p$ ) (m/s)	1148.755	1224.056	1366.727	1335.190
7. Kecepatan Gel. Geser, ( $V_s$ ) (m/s)	468.98	499.72	557.96	545.09
8. Modulus Geser ( $G_{\max}$ ) ( $\text{ton/m}^2$ )	41898.53	51117.43	61860.07	62692.71

Sumber: hasil pengujian



Gambar 4.9 Grafik hubungan parameter dinamik (A) Modulus geser; (B)Kecepatan gelombang geser *clay shale* terhadap kedalaman. (Sumber: Hasil penelitian)

Dari Gambar 4.9A terlihat bahwa *clay shale* pada kedalaman 16 m mempunyai modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ) yang tertinggi. Apabila dibandingkan dengan modulus geser *clay shale* cokelat ( $G_{max} = 41898,53 \text{ ton/m}^2$ ) maka *clay shale* abu-abu mempunyai nilai modulus geser 49,63 % yang lebih tinggi ( $G_{max} = 62692,71 \text{ ton/m}^2$ ). Besarnya kecepatan gelombang geser tertinggi diperoleh pada *clay shale* kedalaman 14 m yaitu sebesar 557,96 m/s. Kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) pada kedalaman lereng 16 m diperoleh hasil yang lebih rendah yaitu sebesar 545,09 m/s (Gambar 4.9B).

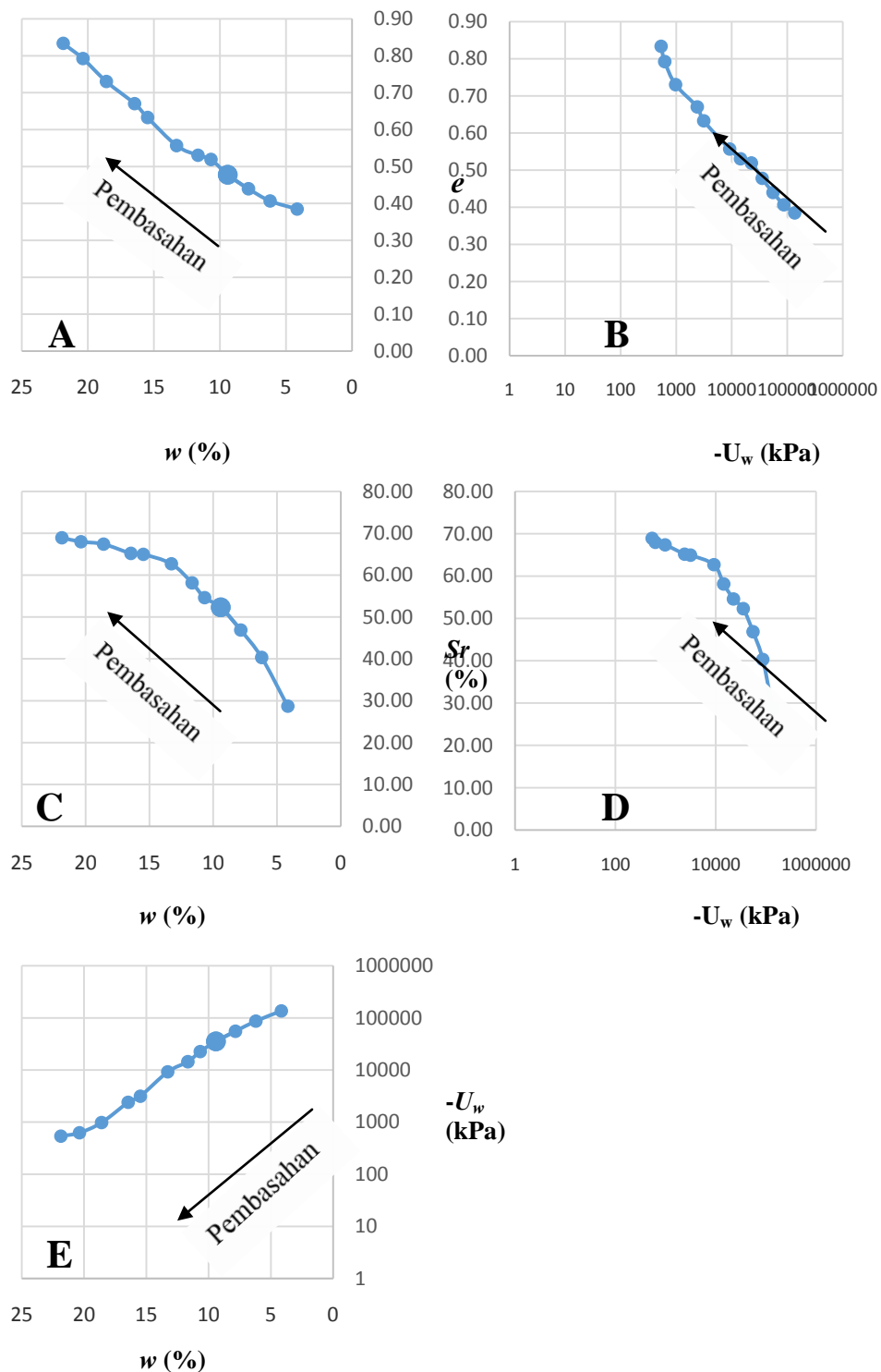
Perambatan gelombang sangat ditentukan dari kerapatan, kepadatan dan struktur lapisan *clay shale*. Dari hasil pengujian terlihat bahwa *clay shale* yang memiliki kadar air lebih rendah dan berat volume yang tinggi mempunyai modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ) yang tinggi. Keragaman nilai kecepatan gelombang sekunder ( $V_s$ ) mempengaruhi nilai modulus geser  $G_{max}$  karena merupakan fungsi kuadrat dari kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ).

#### 4.4.6. Sifat Fisik *Clay Shale* Akibat Perubahan Kadar Air (Siklus 1)

Proses pengeringan dan pembasahan pada benda uji *clay shale* mengakibatkan perubahan terhadap kadar air benda uji, dimana pada saat pembasahan kadar air akan mengalami peningkatan. Benda uji *clay shale* yang mengalami pembasahan dan pengeringan diambil pada kedalaman lereng 14 m. Pada bagian ini akan dibuat berbagai grafik hubungan parameter sifat fisik antara lain: kadar air ( $w_c$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ), kadar air ( $w_c$ ) dengan angka pori ( $e$ ), tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ), tegangan air pori negatif dengan angka pori ( $e$ ), dan tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) dengan kadar air ( $w_c$ ) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10. Kurva-kurva tersebut menjadi acuan dalam pembahasan fenomena yang terjadi.

##### 4.4.6.1. Hubungan antara Kadar Air ( $w_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )

Gambar 4.10A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada benda uji *clay shale*. Gambar kurva hubungan antara perubahan angka pori ( $e$ ) terhadap kadar air ( $w$ ) disebut juga sebagai kurva penyusutan dan pengembangan (*shrinkage-swelling curve*). Terlihat bahwa saat mengalami pembasahan angka pori membesar. Pada saat pembasahan dari kondisi kering ke kondisi jenuh terlihat adanya peningkatan angka pori 16,73 %. Ini menunjukkan bahwa benda uji mengalami pengembangan dengan bertambahnya kadar air. Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, dan sebaliknya.



Gambar 4.10 Pengaruh pembasahan terhadap sifat fisik pada *clay shale* Tuban kedalaman 14 m. (A) hubungan antara kadar air dan angka pori, (B) angka pori terhadap teg. air pori negatif, (C) derajat kejenuhan terhadap kadar air, (D) derajat kejenuhan terhadap teg. air pori negatif, (E) kadar air terhadap teg. air pori negatif. (Sumber: Hasil Penelitian).

#### **4.4.6.2. Hubungan antara Angka pori ( $e$ ) dengan Tegangan air pori negatif ( $-U_w$ )**

Gambar 4.10B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada *clay shale*. Dalam gambar 4.10B menunjukkan bahwa semakin kecil angka pori maka tegangan air pori negatif yang terjadi semakin besar. Tegangan air pori negatif atau *suction* merupakan fungsi dari fenomena pipa kapiler. Saat pembasahan air mengisi rongga pori sehingga diameter ruang pori membesar. Semakin besar jari-jari pipa kapiler ( $d$ ), maka tegangan permukaan (*surface tension*) akan semakin kecil akibatnya tegangan air pori negatif (*suction*) juga semakin kecil ( $U_w = (4T)/d$ ). Pada kondisi inisial, *clay shale* memiliki *suction* sebesar 3135,812 kPa ( $pF = \log 135,812 = 3,49$ ) maka tinggi air kapiler mencapai 3135,812 cm atau 31,3 m dari muka air tanah. Adanya pengeringan yang kuat pada tanah meningkatkan besar hisapan sehingga menimbulkan retakan pada permukaan.

#### **4.4.6.3. Hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.10C merupakan grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan. Dari grafik tersebut terlihat bahwa, derajat kejenuhan terus meningkat dengan bertambahnya kadar air hingga mencapai kondisi jenuh. Penambahan air ke dalam tanah menyebabkan ruang pori yang masih kosong akan terisi oleh air. Semakin banyak air yang ditambahkan, maka akan semakin sedikit ruang pori yang belum terisi oleh air, hingga suatu saat seluruh ruang pori akan terisi air ( $v_w = v_v$ ). Bila seluruh ruang pori/rekahan terisi oleh air maka massa batuan berada dalam kondisi jenuh. Penambahan air yang dilakukan pada proses pembasahan menghasilkan derajat kejenuhan tertinggi sebesar 68.9%, dengan kata lain kadar air *clay shale* masih dapat bertambah akibat *swelling* (pengembangan).

#### **4.4.6.4. Hubungan antara Tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Dari gambar 4.10D terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin besar tegangan air pori

negatif semakin menurun derajat kejenuhannya. Saat pembasahan dari kadar air kondisi kering 100% (kadar air 4,15%) ke kadar air kondisi jenuh (21,86%) terjadi kenaikan angka pori. Akibat kenaikan angka pori ini, diikuti oleh penurunan nilai tegangan air pori negatif dari 135596.97 kPa menjadi 537.44 kPa. Penurunan derajat kejenuhan ini tidak terjadi secara drastis, tetapi menurun secara perlahan seiring dengan bertambahnya tegangan air pori negatif atau hisapan.

#### **4.4.6.5. Hubungan antara tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) dengan kadar air ( $w_c$ )**

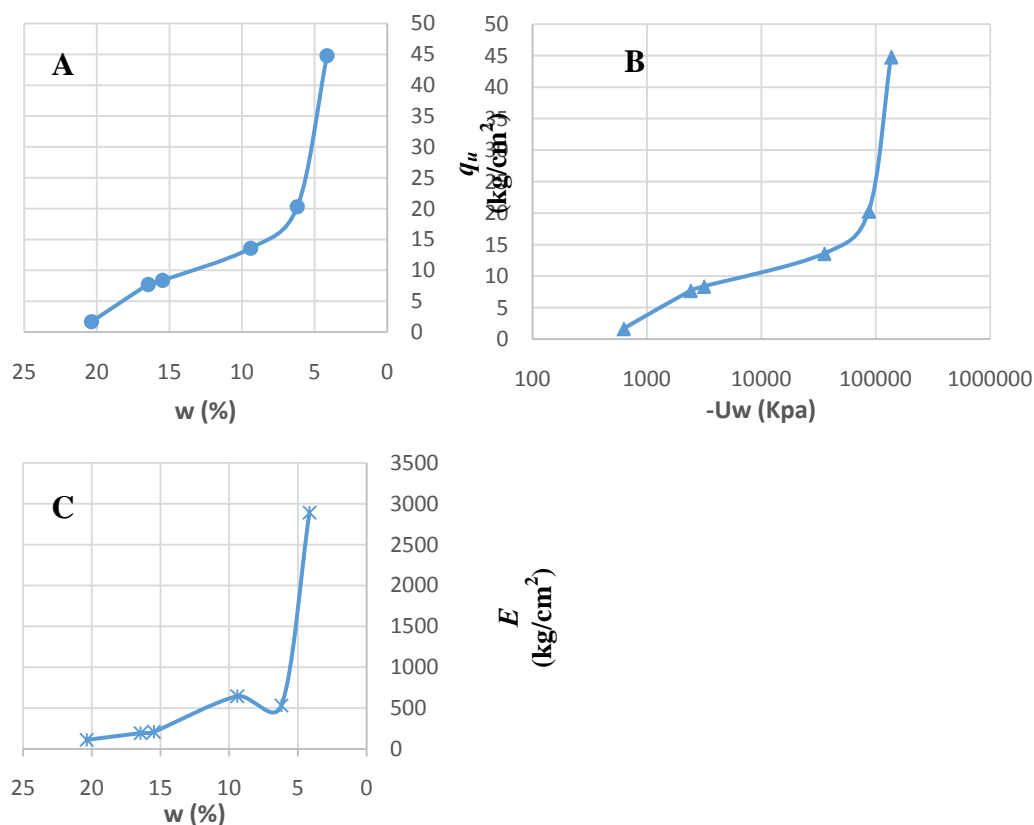
Gambar 4.10E menunjukkan kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kadar air akibat perubahan kadar air *clay shale* Tuban. Kurva ini memperlihatkan pada saat pembasahan, kadar air *clay shale* bertambah maka tegangan air pori negatif mengalami penurunan. Hal ini diduga disebabkan oleh semakin bertambahnya kadar air yang mengisi ruang pori maka diameter pori membesar. Demikian juga bila dihubungkan dengan metode pengukuran *suction* dengan kertas filter. Bila kadar air tanah meningkat, maka air yang terserap oleh kertas filter juga akan semakin banyak, sehingga tegangan air pori negatif yang terukur semakin kecil. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Fredlund dan Rahardjo (1993) bahwa peningkatan kadar air akan menyebabkan tegangan air pori negatif bertambah kecil.

#### **4.4.7. Sifat Mekanik *Clay Shale* Akibat Perubahan Kadar Air (Siklus 1)**

Hasil penelitian sifat mekanik berupa nilai UCS ( $q_u$ ) dan *Point load index* ( $I_c$ ) akibat perubahan kadar air (penerapan siklus 1) pada *clay shale* Tuban dapat dilihat pada Gambar 4.11. Dari Gambar 4.11A terlihat bahwa semakin besar nilai kadar air, maka nilai  $q_u$  *clay shale* juga semakin turun. Pada kondisi kering, nilai kuat tekan *clay shale* mencapai 44,773 kg/cm<sup>2</sup> kemudian turun menjadi hanya sebesar 1,669 kg/cm<sup>2</sup> setelah akhir pembasahan dilakukan. Penurunan nilai kuat tekan signifikan terjadi sampai kadar air mencapai 6% kemudian turun secara konstan hingga kondisi jenuh. Pada saat pembasahan, air akan mengisi ruang pori yang mengakibatkan jarak antar butir tanah menjadi

bertambah. Struktur *clay shale* yang berlapis-lapis dan retakan pada permukaan benda uji akibat *swelling* mengakibatkan turunnya kekuatan *clay shale*.

Dari Gambar 4.11 yang menunjukkan hubungan antara tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) dengan kuat tekan ( $q_u$ ) juga memperlihatkan adanya penurunan nilai kuat tekan *clay shale* seiring penurunan tegangan air pori negatifnya. Tegangan air pori negatif mempengaruhi besarnya tegangan efektif. Turunnya tegangan air pori negatif akibat membesarnya jarak antar butiran pada saat pembasahan menurunkan parameter kekuatan *clay shale*.



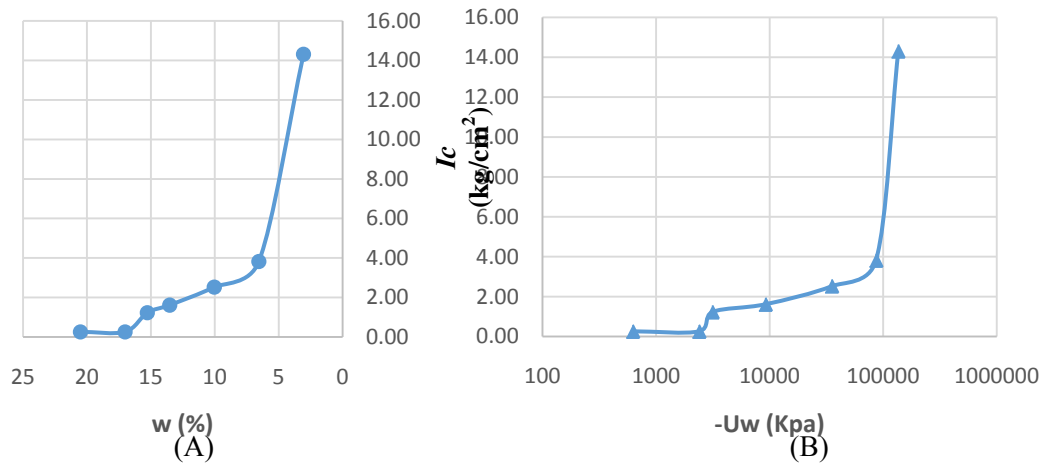
Gambar 4.11 (A) Pengaruh kadar air terhadap kuat tekan ( $q_u$ ), (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan kuat tekan ( $q_u$ ) (C) Pengaruh kadar air terhadap Modulus elastisitas ( $E$ ), *clay shale* Tuban pada kedalaman 14 m.  
(Sumber: Hasil Penelitian)

Perubahan kadar air juga mempengaruhi besarnya nilai modulus elastisitas ( $E$ ) *clay shale*. Dari gambar 4.11C dapat dilihat modulus elastisitas *clay shale* mengalami penurunan pada saat pembasahan dilakukan. Penurunan rasio



tegangan dan regangan yang diperoleh akibat penambahan kadar air tidak terjadi secara linier. Hal ini disebabkan oleh perubahan perilaku deformasi *clay shale* akibat tekanan. Pada saat kondisi kering, *clay shale* terdeformasi secara elastis dan tidak mengalami pemadatan (menutupnya pori) pada awal pembebanan, kemudian runtuh secara tiba-tiba. Pada saat kadar air bertambah, perilaku deformasi *clay shale* cenderung dimulai oleh fase liat (*ductile*) kemudian runtuh secara perlahan. Retakan akibat *swelling* juga mempengaruhi perilaku deformasi *clay shale* pada saat pembebanan.

Selain pengujian UCS, pengujian *Point load* juga dilakukan untuk mendapatkan parameter indeks kekuatan *clay shale* akibat perubahan kadar air. Hasil penelitian sifat mekanik berupa *Point load index* ( $I_c$ ) akibat perubahan kadar air (penerapan siklus 1) pada *clay shale* Tubandapat dilihat dapat Gambar 4.12A. Dari grafik tersebut terlihat bahwa, perubahan kadar air dari kondisi kering ke kondisi jenuh terjadi penurunan kekuatan yang besar. Besarnya nilai  $I_c$  pada kondisi kering adalah  $14,31 \text{ kg/cm}^2$  turun menjadi menjadi  $0,26 \text{ kg/cm}^2$ . Penurunan nilai  $I_c$  signifikan terjadi sampai kadar air *clay shale* mencapai 6% kemudian turun konstan sampai kondisi jenuh. Pada saat kadar air sebesar 6 % *clay shale* kehilangan kekuatannya menjadi  $3,82 \text{ kg/cm}^2$  atau  $0,382 \text{ Mpa}$ . Besar nilai  $I_c$   $0,382 \text{ Mpa}$  yaitu  $< 1 \text{ Mpa}$  mengindikasikan bahwa kekuatan *clay shale* masuk dalam kategori sebagai batuan lunak. Struktur *clay shale* yang berlapis menghasilkan nilai kekuatan indeks terpusat ( $I_c$ ) yang kecil. Hal ini juga sebanding dengan nilai kuat tekan ( $q_u$ ), dimana pada waktu proses pembasahan dan pengeringan terjadi perubahan yang signifikan.



Gambar 4.12 (A)Pengaruh kadar air terhadap indeks kekuatan beban terpusat ( $I_c$ ), (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan indeks kekuatan beban terpusat ( $I_c$ ) *clay shale* Tuban pada kedalaman 14 m. (Sumber: Hasil Penelitian).

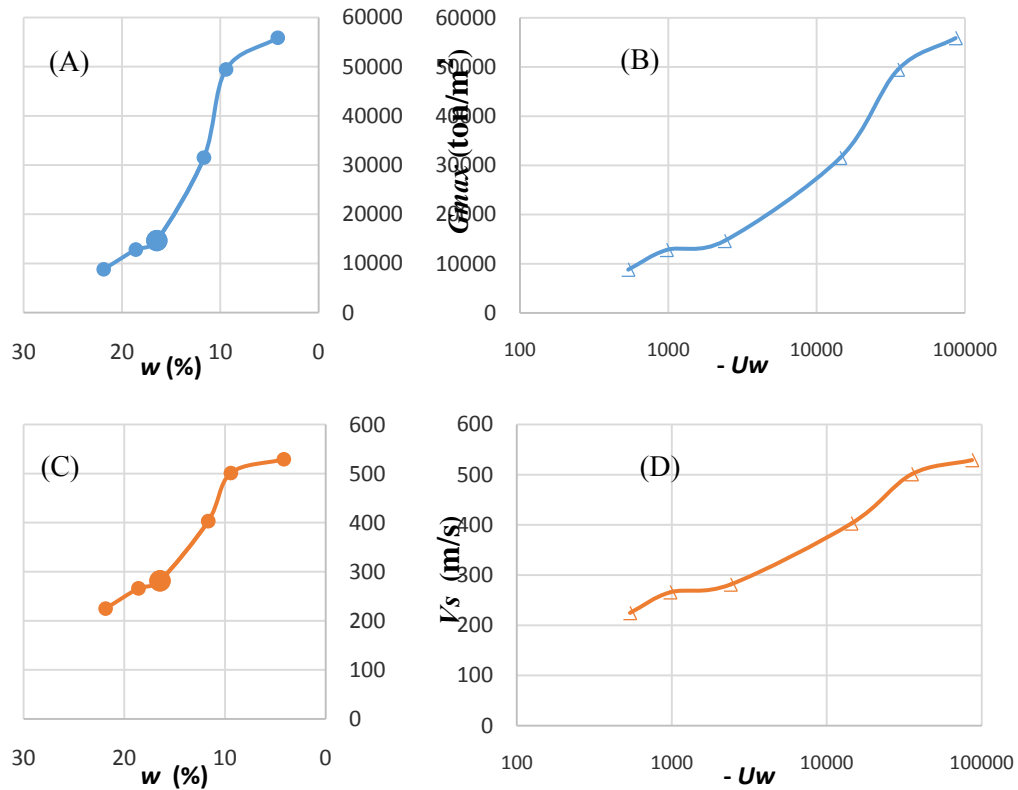
#### 4.4.8. Sifat Dinamik *Clay Shale* Akibat Perubahan Kadar Air (Siklus 1)

Hasil penelitian pengaruh perubahan kadar air (siklus 1) terhadap modulus geser *clay shale* Tuban yang digambarkan dalam kurva hubungan antara kadar air dengan modulus geser ( $G_{\max}$ ) terlihat pada Gambar 4.13A. Tampak bahwa penambahan kadar air menyebabkan modulus geser ( $G_{\max}$ ) turun dari 55882,660 ton/m<sup>2</sup> pada kondisi kadar air kering (4,15%) menjadi 8814,66 ton/m<sup>2</sup> saat kondisi jenuh (kadar air 21,86%). Dari kondisi awal ke kondisi jenuh modulus geser tanah mengalami penurunan sebesar 84,23 %. Penurunan modulus geser signifikan mulai kadar air 10% sampai kondisi jenuh.

Pada Gambar 4.13B saat pembasahan menunjukkan perubahan nilai modulus geser yang semakin besar yang diiringi dengan perubahan nilai tegangan air pori negatif yang juga semakin besar. Dari kondisi awal ke kondisi jenuh 100% terjadi penurunan tegangan air pori negatif yang diikuti penurunan 84,23 % nilai modulus geser tanah. Terlihat bahwa terjadi penurunan yang perlahan seiring antara modulus geser dan tegangan air pori negatif tanah pada *clay shale* Tuban.

Besarnya kecepatan rambatan gelombang geser ( $V_s$ ) juga mengalami penurunan akibat pembasahan (Gambar 4.13C). Penurunan tegangan air pori juga menunjukkan pola yang sama seperti penurunan modulus geser. Pada saat

pembasahan, penurunan kecepatan rambatan gelombang geser yang cukup besar terjadi sampai kadar air sebesar 9%, setelah itu menunjukkan penurunan yang lebih kecil (konstan) sampai kondisi jenuh.

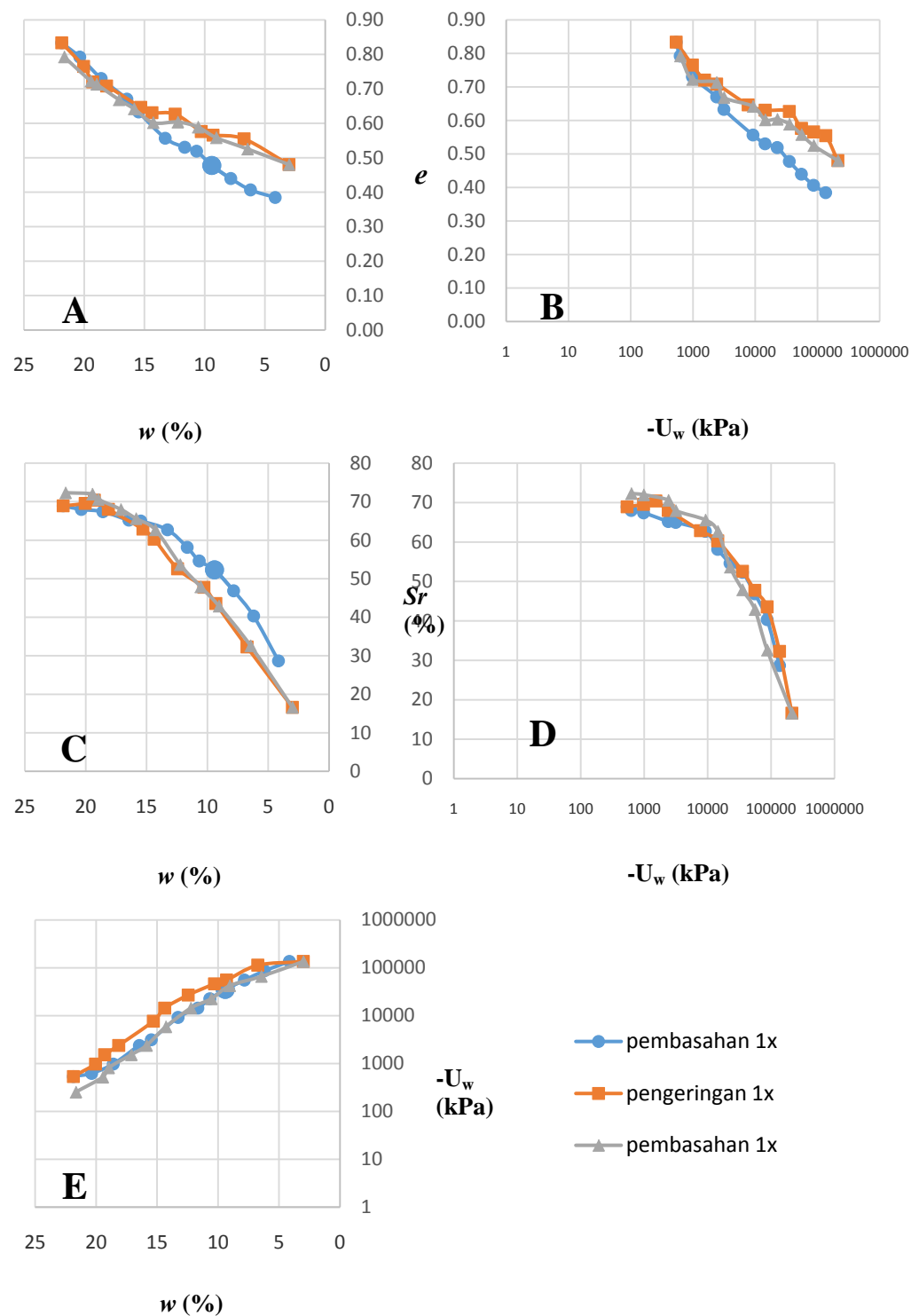


Gambar 4.13 (A)Pengaruh kadar air terhadap indeks modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), (C)Pengaruh kadar air terhadap kecepatan rambatan geser ( $V_s$ ), (D) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan kecepatan rambatan geser ( $V_s$ ) clay shale Tuban pada kedalaman 14 m (Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.5. Siklus Pembasahan-Pengeringan Clay Shale

##### 4.5.1. Pengaruh Siklus Pembasahan Pengeringan Terhadap Sifat Fisik

Hasil penelitian sifat fisik tanah akibat siklus ke-2 pada clay shale Tuban secara umum dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Pengaruh siklus ke-2 terhadap sifat fisik pada *clay shale* Tuban. (A) hubungan antara kadar air dan angka pori, (B) angka pori terhadap teg. air pori negatif, (C) derajat kejenuhan terhadap kadar air, (D) derajat kejenuhan terhadap teg. air pori negatif, (E) kadar air terhadap teg. air pori negatif. (Sumber: Hasil Penelitian)

Gambar 4.14A menunjukkan bahwa penerapan pembasahan pengeringan dari siklus 1 ke siklus 2 mengakibatkan angka pori ( $e$ ) *clay shale* cenderung meningkat. Akan tetapi peningkatan ini terjadi sampai kadar air *clay shale* mencapai 15% kemudian mengalami penurunan sampai kondisi jenuh. Perubahan angka pori pada saat pengeringan 1x dan pembasahan 2x memiliki pola yang hampir sama. Perubahan angka pori sudah tidak signifikan terjadi setelah proses pembasahan 1x dilakukan. Angka pori pada kondisi awal 0,556 mengalami peningkatan akibat pembasahan 1x menjadi 0,646 yaitu mengalami peningkatan sebesar 13,75%. Kemudian mengalami penurunan menjadi 0,642 setelah pembasahan 2x (berkurang 1,51%). Fenomena ini diduga disebabkan karena *clay shale* pada kondisi inisial memiliki kepadatan yang tinggi sehingga orientasi dan susunan partikelnya kompak, akibat siklus pembasahan-pengurangan pertama diterapkan, orientasi dan susunan partikel berubah.

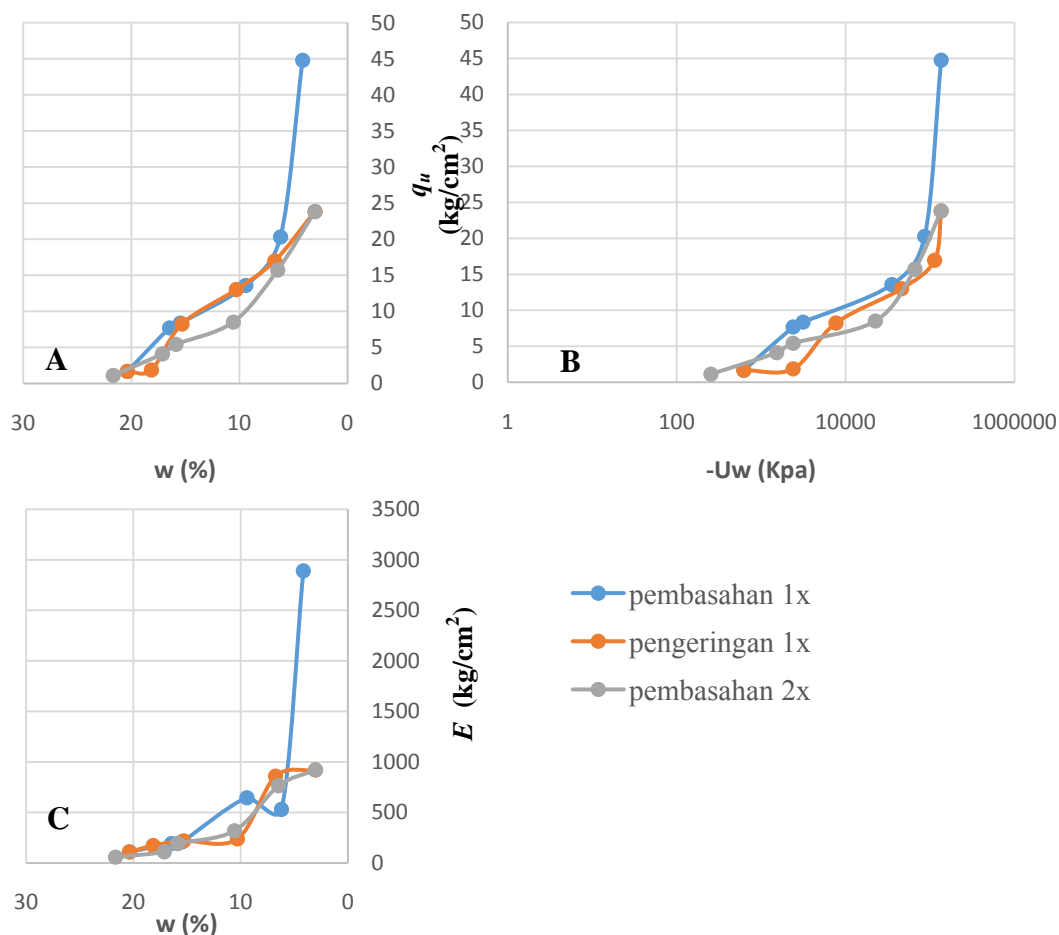
Berdasarkan Gambar 4.14C dapat dilihat derajat kejenuhan cenderung mengalami penurunan akibat siklus. Terlihat bahwa derajat kejenuhan ( $S_r$ ) *clay shale* dari kondisi inisial mengalami penurunan 13,59% setelah siklus 1 dari kondisi inisial sebesar 75,165% menjadi 64,95%. Setelah siklus 2, derajat kejenuhan mengalami penurunan sebesar 1,001% menjadi 65,6%. Nilai angka pori tanah yang sangat rendah ( $e = 0,4$ ) mengakibatkan volume *void* dalam tanah lebih rendah daripada volume *solid* ( $v_v = 0,4 v_s$ ), hal ini yang menyebabkan derajat kejenuhan yang tinggi ( $S_r = w_c \cdot G_s / e$ ). Peningkatan angka pori mengakibatkan penurunan derajat kejenuhan. Dari kondisi inisial sampai akhir siklus ke 2, angka pori meningkat 15,47% diikuti penurunan derajat kejenuhan negatif sebesar 65,6%.

Dari Gambar 4.14B, tegangan air pori negatif akibat siklus juga mengalami perubahan. Penurunan tegangan air pori juga menunjukkan pola yang sama seperti penurunan derajat kejenuhan. Penerapan siklus 1 menunjukkan penurunan tegangan air pori yang cukup besar, setelah siklus 2 menunjukkan penurunan yang lebih kecil (konstan). Peningkatan angka pori mengakibatkan penurunan tegangan air pori negatif. Dari kondisi inisial ke siklus 1, angka pori meningkat 13,75% yang diikuti penurunan nilai tegangan air pori sebesar 65,91% dan siklus 1 ke siklus 2 angka pori menurun 1,0% yang diikuti penurunan nilai

tegangan air pori negatif sebesar 23,59. Secara keseluruhan dari kondisi inisial sampai akhir siklus ke 2, angka pori menurun 15,47% yang diikuti penurunan tegangan air pori negatif sebesar 73,95%. Penyebab menurunnya nilai tegangan air pori negatif diduga disebabkan oleh melemahnya ikatan antar partikel lempung akibat kembang susut pada saat pengulangan siklus pembasahan-pengeringan, sehingga tegangan air pori berkurang.

#### 4.5.2. Pengaruh Siklus Pembasahan Pengeringan terhadap sifat Mekanik

Hasil penelitian sifat mekanik *clay shale* akibat siklus 2 pada *clay shale* Tuban secara umum dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 (A) Pengaruh siklus ke-2 terhadap kuat tekan ( $q_u$ ), (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan kuat tekan ( $q_u$ ), (C) Pengaruh siklus ke-2 terhadap modulus elastisitas ( $E$ ) *clay shale* Tuban pada kedalaman 14 m.  
(Sumber: Hasil Penelitian)

Gambar 4.15A secara umum menunjukkan bahwa penerapan siklus 1 ke siklus 2 mengakibatkan kuat tekan ( $qu$ ) *clay shale* cenderung menurun. Penurunan terbesar terjadi pada saat proses pembasahan 1x. Perubahan kuat tekan pada saat pembasahan 1x dan pengeringan 1x memiliki pola yang hampir sama kecuali pada saat kondisi kering 100 %. Kuat tekan undrained ( $qu$ ) pada kondisi awal 18,313 kg/cm<sup>2</sup> mengalami penurunan sebesar 55,02% sampai pembasahan 1kali menjadi 8.236 kg/cm<sup>2</sup>, kemudian mengalami penurunan lagi sebesar 34,22% menjadi 5,418 kg/cm<sup>2</sup> setelah siklus 2 selesai. Secara keseluruhan dari kondisi inisial sampai akhir siklus ke 2, kuat tekan ( $qu$ ) *clay shale* turun sebesar 70,41%.

Dari grafik hubungan tegangan air pori negatif terhadap kuat tekan (Gambar 4.15B) juga memperlihatkan perubahan. Tampak bahwa tegangan air pori negatif dan kuat tekan *clay shale* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah siklus. Dari kondisi inisial sampai akhir siklus ke 2, tegangan air pori menurun 73,95% menjadi 2396,0 kPa yang diikuti penurunan kuat tekan *clay shale* sebesar 70,41 %.

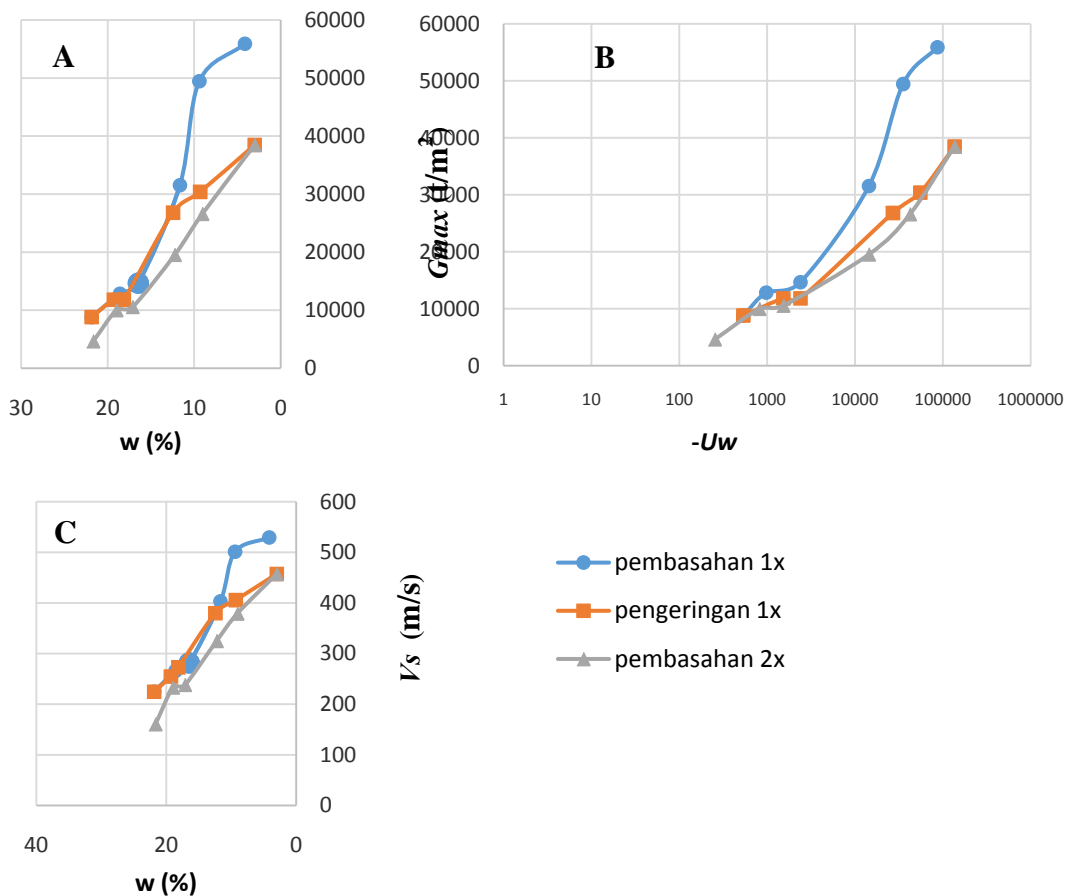
Dari Gambar 4.15C, modulus elastisitas *clay shale* juga mengalami perubahan akibat siklus pembasahan dan pengeringan. Modulus elastisitas ( $E$ ) pada kondisi awal 478,7 kg/cm<sup>2</sup> mengalami penurunan sebesar 56,36% setelah pembasahan 1 kali menjadi 208,889 kg/cm<sup>2</sup>, kemudian mengalami penurunan lagi sebesar 8,65% menjadi 190,807 kg/cm<sup>2</sup> setelah siklus 2 selesai. Penurunan total dari kondisi inisial sampai akhir siklus ke 2, modulus elastisitas ( $E$ ) *clay shale* turun sebesar 60,14%.

Penurunan kepadatan tanah dan membesarnya angka pori diikuti oleh penurunan tegangan air pori negatif dan kekuatan tanah. Hal ini kemungkinan disebabkan kembang susut yang terjadi pada *clay shale* saat dilakukan siklus. Adanya retak pada permukaan *clay shale* saat dilakukan proses pengeringan mempermudah air masuk dan mengurangi ikatan butiran. Disamping itu proses penguatan ikatan dan perlemahan ikatan berulang, membuat ikatan antar partikel lempung di permukaan lempung melemah sehingga tanah menjadi getas (*brittle*). Hal ini ditandai dengan turunnya modulus elastisitas sebagai perlakuan deformasi *clay shale* yang berangsur-angsur menjadi liat dan tidak

kompak.

#### 4.5.3. Pengaruh Siklus Pembasahan Pengeringan terhadap sifat Dinamik

Hasil penelitian pembasahan dan pengeringan berulang terhadap parameter dinamik pada *clay shale* Tuban diperlihatkan pada Gambar 6.16.



Gambar 4.16 (A)Pengaruh siklus ke-2 terhadap indeks modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), (B) Pengaruh tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), (C)Pengaruh kadar air terhadap kecepatan rambatan geser ( $V_s$ ) *clay shale* Tuban pada kedalaman 14 m. (Sumber: Hasil Penelitian)

Dari Gambar 4.16A tampak bahwa akibat siklus pengeringan-pembasahan berulang, modulus geser ( $G_{max}$ ) *clay shale* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah siklus. Tahapan pembasahan 60% (kadar air inisial), berturut-turut dari inisial, tahap pembasahan 1x, sampai tahap pembasahan 2x nilai modulus geser *clay shale* berturut-turut adalah  $61860,1 \text{ t/m}^2$ ,  $14653,93 \text{ t/m}^2$ ,



dan 10560,7t/m<sup>2</sup> mengalami penurunan 82,93 % dari kondisi awal sampai akhir siklus kedua (Gambar 6.16A). Penurunan modulus geser yang tinggi terjadi pada tahap pembasahan 1x dengan penurunan 76,311%. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya tingkatkepadatan dan retakan permukaan akibat kembang susut yang mulai terbentuk pada saat pembasahan pertama dilakukan.

Hasil penelitian tegangan air pori negatif dan modulus geser *clay shale* akibat pengaruh siklus pembasahan-pengeringan berulang ditunjukkan pada Gambar 6.16B. Modulus geser juga mengalami penurunan seiring dengan berkurangnya tegangan air pori negatif. Dari kondisi inisial sampai akhir siklus ke 2, tegangan air pori menurun 73,95% menjadi 2396,0 kPa yang diikuti penurunan modulus geser ( $G_{max}$ ) *clay shale* sebesar 56,68 %.

Dari Gambar 4.16C, kecepatan rambatan gelombang geser ( $V_s$ ) *clay shale* juga mengalami perubahan akibat siklus pembasahan dan pengeringan. Penurunan kecepatan rambatan geser juga menunjukkan pola yang sama seperti penurunan modulus geser. Penerapan siklus 1 menunjukkan penurunan kecepatan rambatan geser yang besar, setelah siklus 2 menunjukkan penurunan yang lebih kecil (konstan). kecepatan rambatan geser ( $V_s$ ) pada kondisi awal 557,964 m/smengalami penurunan sebesar 49,57% setelahpembasahan 1 kali menjadi 281,4 m/s,kemudian mengalami penurunan lagi sebesar 15,39 % menjadi 238,1 m/s setelah siklus 2 selesai. Penurunan total dari kondisi inisial sampai akhir siklus ke 2, kecepatan rambatan geser *clay shale* turun sebesar 57,331%.Pengulangan siklus menyebabkan angka pori semakin besar, yaitu kepadatan semakin bertambah, sehingga gelombang dapat merambat dengan cepat. Hal inilah yang mengakibatkan modulus geser ( $G_{max}$ ) *clay shale* meningkat.

#### **4.5.4. Pengaruh Siklus Pembasahan Pengeringan terhadap sifat Kimiawi**

Hasil penelitian pembasahan dan pengeringan berulang terhadap sifat kimiawi pada *clay shale* Tuban diperlihatkan pada Tabel 4.10. Setelah dilakukan pembasahan, jumlah komposisi mineral *illite* berkurang secara bertahap sampai siklus ke 2 selesai. Persentase kandungan *illite* berkurang dari 61,7% menjadi sebesar 57% pada saat siklus pertama dan menjadi sebesar 54,9% pada saat siklus

kedua. Selain itu komposisi mineral *montmorillonite* justru bertambah sebesar 41% menjadi 3,4% pada saat pembasahan kedua (siklus 2), akan tetapi mengalami penurunan pada saat pembasahan pertama dilakukan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh struktur mineral *illite* yang terpisah dan berubah menjadi struktur yg lebih kecil membentuk *montmorillonite* atau campuran keduanya (*mixed layer clay mineral*) akibat pengeringan dan pembasahan yang dilakukan. Perubahan komposisi kimia ini akan sangat mempengaruhi parameter fisik, mekanik, maupun dinamik *clay shale* terutama terhadap perilaku kembang susut yang terjadi.

Tabel 4.10 Pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan terhadap komposisi kimia *clay shale*

Jenis Mineral		Komposisi Mineral (%)		
		inisial	Siklus 1	Siklus 2
Mineral lempung ( <i>phyllosilicates</i> )	<i>Kaolinite</i>	-	10.8	-
	<i>illite</i>	61.7	57	54.9
	<i>montmollonite</i>	2	1.3	3.4
Mineral bukan lempung	<i>carbonate</i>	-	-	-
	<i>Quartz</i>	36.3	30.8	41.7
	<i>feldspar</i>	-	-	-

(Sumber : Hasil penelitian)

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, maka penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan sesuai dengan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil tes XRD, dan SEM pada *clay shale* Tuban, dapat disimpulkan bahwa pada kedalaman lereng 10 m sampai 16 m tersusun dominan atas mineral lempung *illite*. Persentase mineral *illite* berkurang terhadap penurunan derajat pelapukan. Kandungan *montmorillonite* yang bersifat mengembang pada *clay shale* mempengaruhi sifat fisik, mekanik maupun dinamik *clay shale* Tuban walaupun dengan persentase yang kecil.
2. Siklus pembasahan-pengeringan mempengaruhi parameter sifat fisik *clay shale* Tuban. Siklus pembasahan-pengeringan mengakibatkan perubahan struktur atau perubahan ruang pori *clay shale* yang mengembang dan menyusut, sehingga mempengaruhi angka pori ( $e$ ) dan kepadatan. Peningkatan angka pori ( $e$ ) terjadi signifikan pada saat *clay shale* mengalami pembasahan 1 kali (1 siklus) yaitu sebesar 13,75%. Pada akhir siklus ke-2 angka pori ( $e$ ) *clay shale* Tuban mengalami peningkatan sebesar 15,47% dari kondisi inisial.
3. Siklus pembasahan-pengeringan menyebabkan tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) *clay shale* Tuban mengalami penurunan. Penurunan terjadi signifikan pada saat *clay shale* mengalami 1 siklus pembasahan-pengeringan. Pada akhir siklus ke-2 tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) tanah *clay shale* Tuban mengalami penurunan sebesar 73,95%. Struktur *clay shale* yang berlapis dan kembang susut yang terjadi menyebabkan adanya retakan pada permukaan *clay shale*, sehingga diameter ruang pori membesar. Siklus pembasahan-pengeringan juga membuat ikatan antar partikel lempung melemah sehingga tegangan efektif tanah menurun. Hal ini yang diduga menjadi penyebab turunnya tegangan air pori negatif ( $-U_w$ ) pada *clay shale* Tuban.

4. Siklus pembasahan-pengeringan menyebabkan penurunan modulus geser ( $G_{max}$ ). Modulus geser ( $G_{max}$ ) *clay shale* Tuban mengalami penurunan sebesar 82,93%. Penurunan terjadi signifikan pada saat *clay shale* mengalami pembasahan satu kali (1 siklus). Angka pori ( $e$ ) yang membesar disertai dengan retakan akibat kembang susut mengakibatkan struktur *clay shale* menjadi pecah dan berongga. Pada saat angka pori semakin besar, kepadatan berkurang sehingga modulus geser ( $G_{max}$ ) *clay shale* Tuban berkurang.
5. Siklus pembasahan-pengeringan menyebabkan parameter mekanik *clay shale* Tuban mengalami penurunan. Dari kondisi inisial sampai akhir siklus ke 2, kuat tekan ( $qu$ ) *clay shale* mengalami penurunan sebesar 70,41%. Perubahan kadar air berpengaruh terhadap kuat tekan ( $qu$ ) *clay shale*. Dari kondisi kering ke kondisi jenuh, rentang perubahan kuat tekan ( $qu$ ) menjadi sebesar 25,8 kali lipat, yaitu dari 44,773 kg/cm<sup>2</sup> menjadi hanya sebesar 1,66 kg/cm<sup>2</sup>. Perubahan kekuatan indeks *clay shale* menurun dari kategori lempung keras menjadi kategori sebagai tanah. Kembang susut yang terjadi merusak struktur butiran dan membuat jarak *inter layer* semakin besar sehingga ikatan antar butir melemah.
6. Perubahan kadar air *clay shale* dari kondisi kering udara sampai kondisi jenuh mempunyai rentang perubahan nilai parameter fisik, mekanik maupun dinamik yang sangat besar. Perubahan parameter fisik, mekanik maupun dinamik terjadi signifikan setelah *clay shale* mengalami pembasahan satu kali (1 siklus). Hal ini yang harus diperhatikan para ahli geoteknik pada saat menentukan parameter fisik, mekanik, dan dinamik pada proses perencanaan bangunan di atas lapisan *clay shale*.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan dari penelitian ini antara lain:

1. Perlu dikembangkan metode pengambilan sampel *clay shale* tidak terganggu di lapangan dan pengembangan pengujian sampel di laboratorium mengingat besarnya rentang parameter *clay shale* sebagai batuan lunak dan sebagai tanah akibat pelapukan dan perubahan kadar air,

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan jumlah siklus yang lebih banyak untuk mengetahui seberapa besar penurunan parameter yang kritis,
3. Perlu dikembangkan metode pengkondisian kadar air yang lebih baik pada saat pembasahan dan pengeringan.



# KONDISI INISIAL

## Match! Phase Analysis Report

Sample: CS-10

### Sample Data

File name	CS-10.rd
File path	E:/THESIS/THSS/THESIS RHIZZ/XRD/XRD fix/Rizka/CS-12
Data collected	Jan 14, 2015 16:18:08
Temperature	0.0
Data range	3.020° - 70.010°
Number of points	4010
Step size	0.017
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

### Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	31.4	Illite	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
B	29.6	Quartz	O <sub>2</sub> Si
C	19.1	Kaolinite	Al <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>9</sub> Si <sub>2</sub>
D	18.0	Calcium carbonate Calcite	Ca C O <sub>3</sub>
E	1.9	Montmorillonite	Al <sub>2</sub> Ca O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>

#### A: Illite (31.4 %)

Formula sum	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.740214
Total number of peaks	260
Space group	C 1 2 1
Crystal system	monoclinic
Unit cell	a= 5.1973 Å b= 8.9990 Å c= 10.1470 Å β= 99.000 °
V <sub>cell</sub>	0.75
Calc. density	2.830 g/cm <sup>3</sup>

#### B: Quartz (29.6 %)

Formula sum	O <sub>2</sub> Si
Figure-of-Merit (FoM)	0.857441
Total number of peaks	35
Space group	P 3 2 1
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Unit cell	a= 4.9134 Å c= 5.4051 Å
V <sub>cell</sub>	4.74
Calc. density	2.649 g/cm <sup>3</sup>

#### C: Kaolinite (19.1 %)

Formula sum	Al <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>9</sub> Si <sub>2</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.734343
Total number of peaks	253
Space group	C 1
Crystal system	triclinic (anorthic)
Unit cell	a= 5.1535 Å b= 8.9419 Å c= 7.3906 Å α= 91.926° β= 105.046° γ= 89.797°
V <sub>cell</sub>	1.14
Calc. density	2.608 g/cm <sup>3</sup>



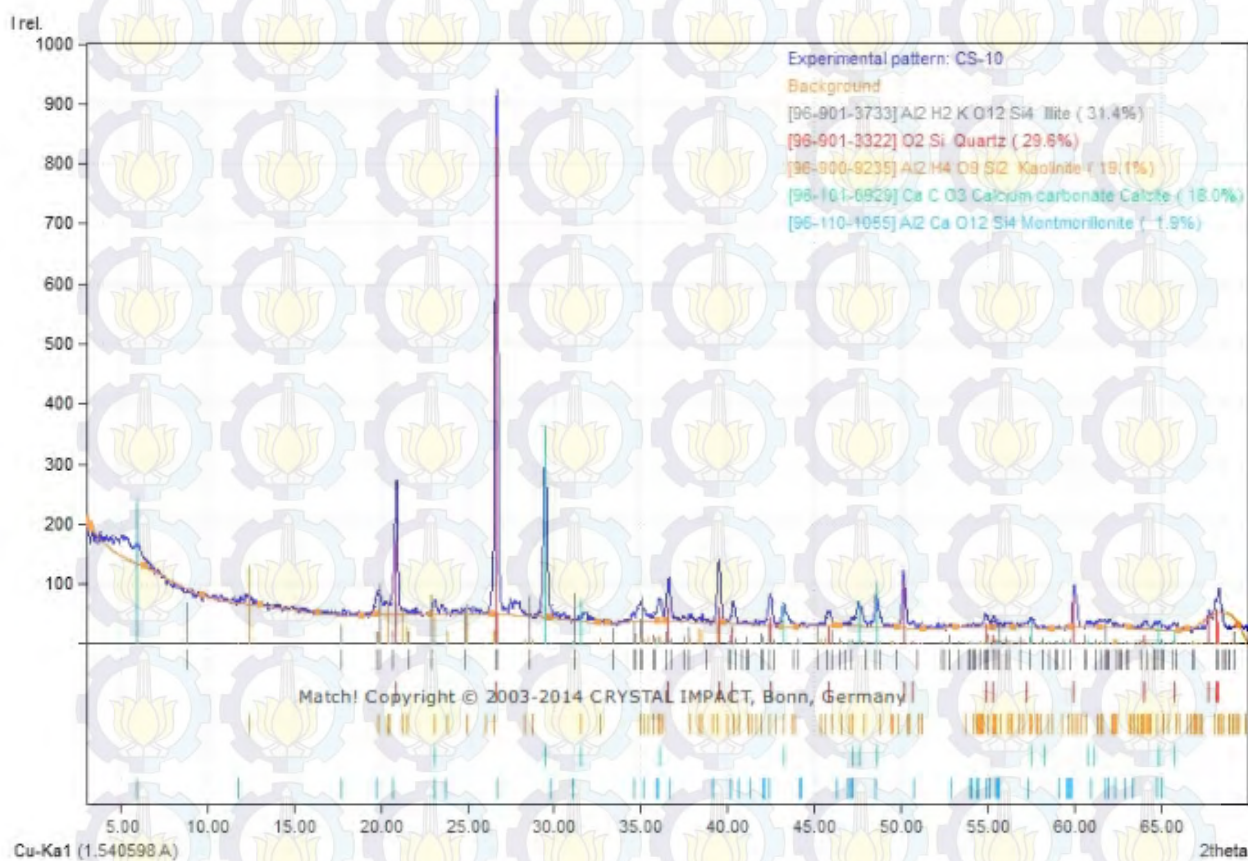
**D: Calcium carbonate Calcite (18.0 %)**

Formula sum Ca C O3  
Figure-of-Merit (FoM) 0.803679  
Total number of peaks 30  
Space group R -3 c  
Crystal system rhombohedral  
Unit cell  $a = 6.3600 \text{ \AA}$   $\alpha = 46.100^\circ$   
I/oor 3.33  
Calc. density  $4.035 \text{ g/cm}^3$

**E: Montmorillonite (1.9 %)**

Formula sum  $\text{Al}_2 \text{CaO}_{12} \text{Si}_4$   
Figure-of-Merit (FoM) 0.620151  
Total number of peaks 92  
Space group P 1  
Crystal system triclinic (anorthic)  
Unit cell  $a = 5.1800 \text{ \AA}$   $b = 8.9800 \text{ \AA}$   $c = 15.0000 \text{ \AA}$   $\alpha = 90.000^\circ$   $\beta = 90.000^\circ$   $\gamma = 90.000^\circ$   
I/oor 20.53  
Calc. density  $1.800 \text{ g/cm}^3$

**Diffraction Pattern Graphics**





# Match! Phase Analysis Report

Sample: CS 12

## Sample Data

File name	CS 12.rd
File path	E:/THESIS/THSS/THESIS RHIZZ/XRD/XRD fix/Rizka/CS 14 wet 2
Data collected	Jan 14, 2015 16:18:05
Temperature	0.0
Data range	2.860° - 69.850°
Number of points	4010
Step size	0.017
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

## Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	49.7	Illite	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
B	25.2	Kaolinite	Al <sub>2</sub> O <sub>9</sub> Si <sub>2</sub>
C	24.4	Quartz	O <sub>2</sub> Si
D	0.7	Montmorillonite	Al <sub>2</sub> Ca O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>

### A: Illite (49.7 %)

Formula sum	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.739068
Total number of peaks	263
Space group	C 1 2/m 1
Crystal system	monoclinic
Unit cell	a= 5.2350 Å b= 9.0320 Å c= 10.1400 Å β= 101.520 °
V <sub>cor</sub>	0.89
Calc. density	2.822 g/cm <sup>3</sup>

### B: Kaolinite (25.2 %)

Formula sum	Al <sub>2</sub> O <sub>9</sub> Si <sub>2</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.682903
Total number of peaks	260
Space group	C 1 c 1
Crystal system	monoclinic
Unit cell	a= 5.1480 Å b= 8.9200 Å c= 14.5350 Å β= 100.200 °
V <sub>cor</sub>	1.17
Calc. density	2.568 g/cm <sup>3</sup>

### C: Quartz (24.4 %)

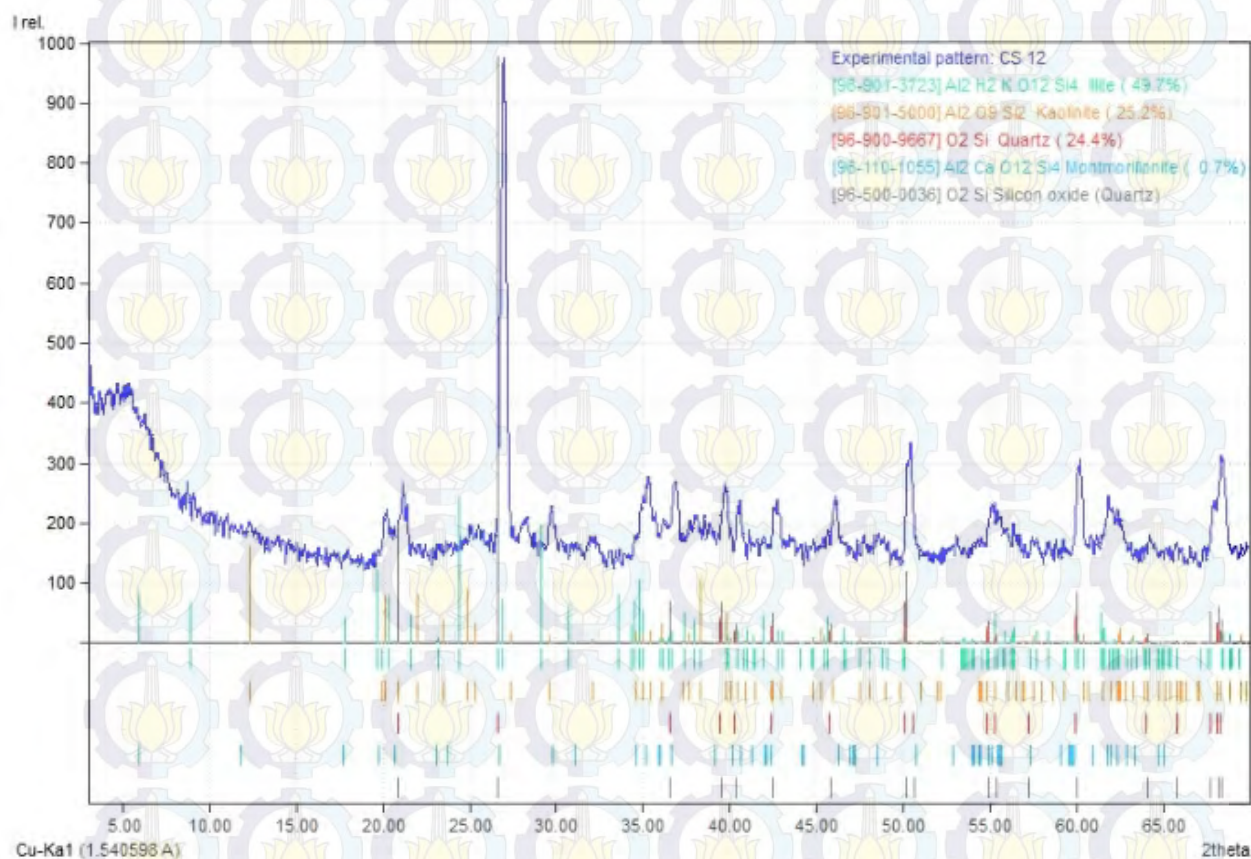
Formula sum	O <sub>2</sub> Si
Figure-of-Merit (FoM)	0.813261
Total number of peaks	35
Space group	P 3 1 2 1
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Unit cell	a= 4.9158 Å c= 5.4091 Å
V <sub>cor</sub>	4.53
Calc. density	2.644 g/cm <sup>3</sup>



**D: Montmorillonite (0.7 %)**

Formula sum	Al <sub>2</sub> Ca O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.581817
Total number of peaks	92
Space group	P 1
Crystal system	triclinic (anorthic)
Unit cell	a= 5.1800 Å b= 8.9800 Å c= 15.0000 Å α= 90.000° β= 90.000° γ= 90.000°
I/cor	20.53
Calc. density	1.800 g/cm <sup>3</sup>

**Diffraction Pattern Graphics**





# Match! Phase Analysis Report

Sample: CS 14

## Sample Data

File name	CS 14.rd
File path	E:/THESIS/THSS/THESIS RHIZZ/XRD/XRD fix/Rizka/CS 14
Data collected	Jan 14, 2015 16:18:03
Temperature	0.0
Data range	3.000° - 69.990°
Number of points	4010
Step size	0.017
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	No
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.541874 Å

## Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	61.7	Illite	A <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
B	36.3	Quartz	O <sub>2</sub> Si
C	2.0	Montmorillonite	A <sub>2</sub> Ca O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>

### A: Illite (61.7 %)

Formula sum	A <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.730715
Total number of peaks	262
Space group	C 1 2/m 1
Crystal system	monoclinic
Unit cell	a= 5.2042 Å b= 8.9852 Å c= 10.2050 Å β= 101.490 °
I/cor	0.92
Calc. density	2.837 g/cm <sup>3</sup>

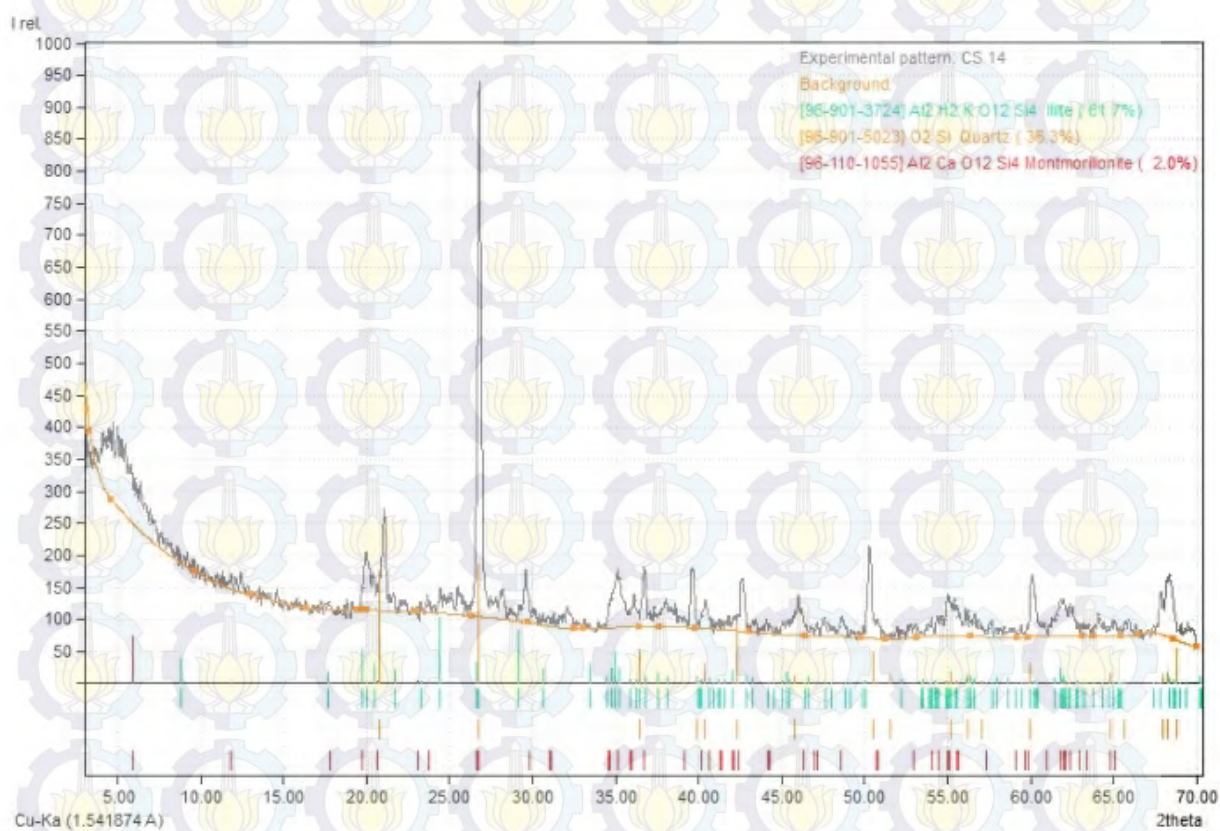
### B: Quartz (36.3 %)

Formula sum	O <sub>2</sub> Si
Figure-of-Merit (FoM)	0.756048
Total number of peaks	35
Space group	P 3 <sub>2</sub> 2 1
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Unit cell	a= 4.9290 Å c= 5.3190 Å
I/cor	2.83
Calc. density	2.673 g/cm <sup>3</sup>

### C: Montmorillonite (2.0 %)

Formula sum	A <sub>2</sub> Ca O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.704118
Total number of peaks	92
Space group	P 1
Crystal system	triclinic (anorthic)
Unit cell	a= 5.1800 Å b= 8.9800 Å c= 15.0000 Å α= 90.000 ° β= 90.000 ° γ= 90.000 °
I/cor	20.53
Calc. density	1.800 g/cm <sup>3</sup>

## Diffraction Pattern Graphics





# Match! Phase Analysis Report

Sample: CS-16

## Sample Data

File name	CS-16.rd
File path	E:/THESIS/THSS/THESIS RHIZZ/XRD/XRD fix/Rizka/CS-16
Data collected	Jan 14, 2015 16:18:10
Temperature	0.0
Data range	3.140° - 70.130°
Number of points	4010
Step size	0.017
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
2theta correction	0.14°
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

## Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	66.6	Illite	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
B	18.4	Kaolinite	Al <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>9</sub> Si <sub>2</sub>
C	14.2	Quartz	O <sub>2</sub> Si
D	0.9	Montmorillonite	Al <sub>2</sub> Ca <sub>0.5</sub> O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>

### A: Illite (66.6 %)

Formula sum	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.767797
Total number of peaks	262
Peaks in range	104
Peaks matched	100
Intensity scale factor	0.29
Space group	C 1 2/m 1
Crystal system	monoclinic
Unit cell	a= 5.2021 Å b= 8.9797 Å c= 10.2260 Å β= 101.570 °
V/cor	0.93
Calc. density	2.834 g/cm <sup>3</sup>

### B: Kaolinite (18.4 %)

Formula sum	Al <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>9</sub> Si <sub>2</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.756038
Total number of peaks	254
Peaks in range	134
Peaks matched	131
Intensity scale factor	0.10
Space group	C 1
Crystal system	triclinic (anorthic)
Unit cell	a= 5.1554 Å b= 8.9448 Å c= 7.4048 Å α= 91.700° β= 104.862° γ= 89.822°
V/cor	1.22
Calc. density	2.599 g/cm <sup>3</sup>

### C: Quartz (14.2 %)

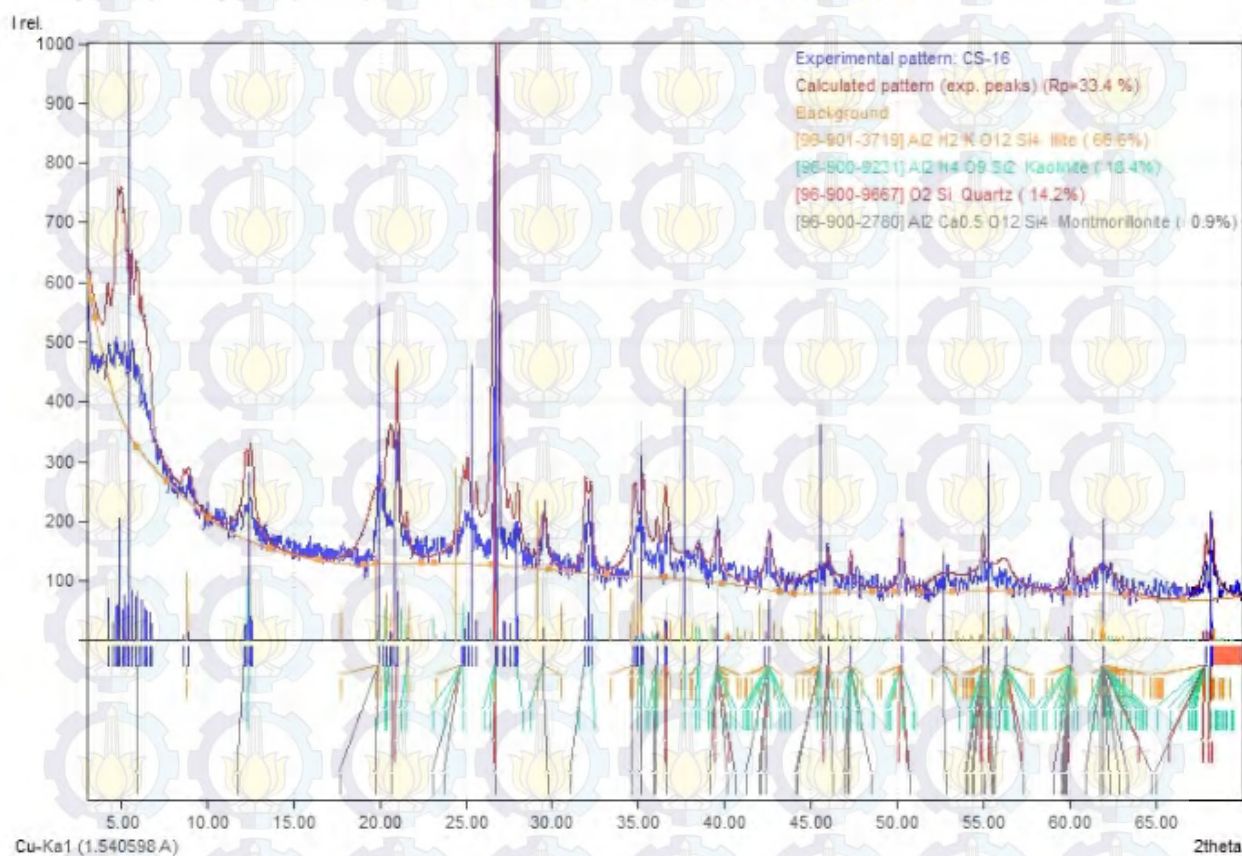
Formula sum	O <sub>2</sub> Si
Figure-of-Merit (FoM)	0.716513
Total number of peaks	35
Peaks in range	17
Peaks matched	17
Intensity scale factor	0.30
Space group	P 31 2 1
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Unit cell	a= 4.9158 Å c= 5.4091 Å
V/cor	4.53
Calc. density	2.644 g/cm <sup>3</sup>



**D: Montmorillonite (0.9 %)**

Formula sum	Al <sub>2</sub> Ca <sub>0.5</sub> O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.574330
Total number of peaks	92
Peaks in range	92
Peaks matched	86
Intensity scale factor	0.08
Space group	P 1
Crystal system	triclinic (anorthic)
Unit cell	a= 5.1800 Å b= 8.9800 Å c= 15.0000 Å α= 90.000° β= 90.000° γ= 90.000°
V <sub>cor</sub>	20.50
Calc. density	1.800 g/cm <sup>3</sup>

## Diffraction Pattern Graphics





# Microanalysis Report

EDAX<sup>®</sup> TSL

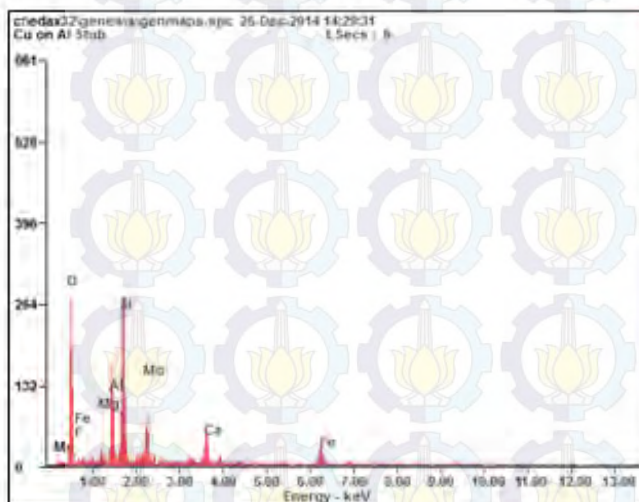
Prepared for: Company Name Here

AMETEK

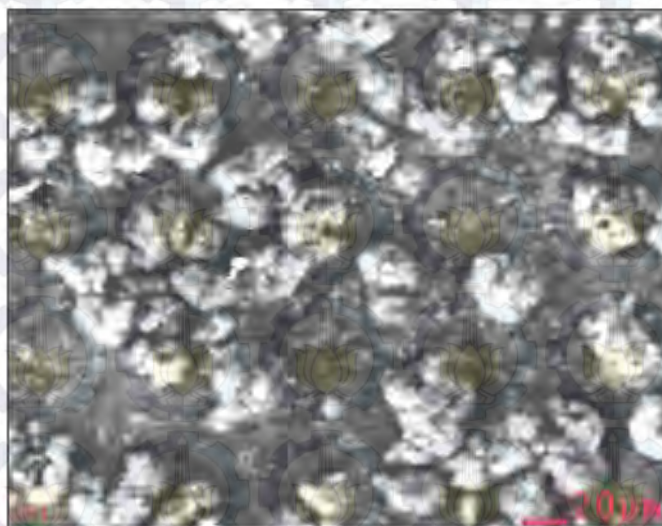
Prepared by: Your Name Here

12/25/2014

BERIKUT ADALAH HASIL PENGULIAN EDX UNTUK SCANNING SELURUH AREA HASIL PENGAMBILAN DATA SEM. BERDASARKAN DATA EDX SEPERTI PADA TABEL MENUNJUKKAN BEBERAPA UNSUR BERIKUT DENGAN PROSENTASE BERAT DAN ATOMIK. PADA HASIL EDX DATA UNSUR DAN AT% DAPAT DIGUNAKAN UNTUK PERKIRAAN SENYAWA YANG TERIDENTIFIKASI. APABILA DIDUGA PADA SAMPEL TERDAPAT MONTMORILONITE, MAKA KOMPOSISI UNSUR YANG TERIDENTIFIKASI HARUS BERSESUAIAN DENGAN PENYUSUN SENYAWA MONTMORILONITE.



Element	Wt%	At%
OK	44.09	63.56
FK	02.18	02.65
MgK	01.62	01.53
AlK	09.65	08.25
SiK	19.55	16.05
MoL	13.46	03.24
CaK	05.00	02.88
FeK	04.46	01.84
Matrix	Correction	ZAF



Rumus molekul untuk montmorillonite adalah :  $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Elemen penyusun utama adalah : Al, H, Na, O, Si

Elemen penyusun senyawa : Al, Na, Ca, Mg, Si, O, H

Impuritas atau unsur pemapu lain : Fe, K

Simpulan:

merujuk pada hasil EDX unsur-unsur pemapu pembentuk montmorillonite teridentifikasi di sampel uji tersebut dengan menyisakan unsur H karena unsur tersebut tidak dapat terdeteksi oleh alat uji karena sensitivitas SEM/EDX tidak mampu mengidentifikasi unsur H (light element).

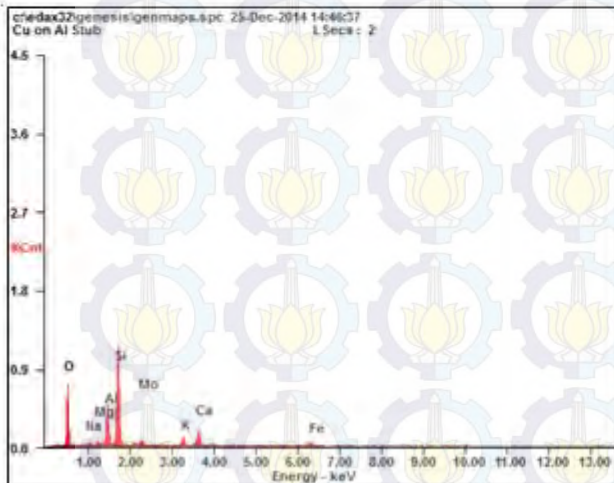


# Microanalysis Report

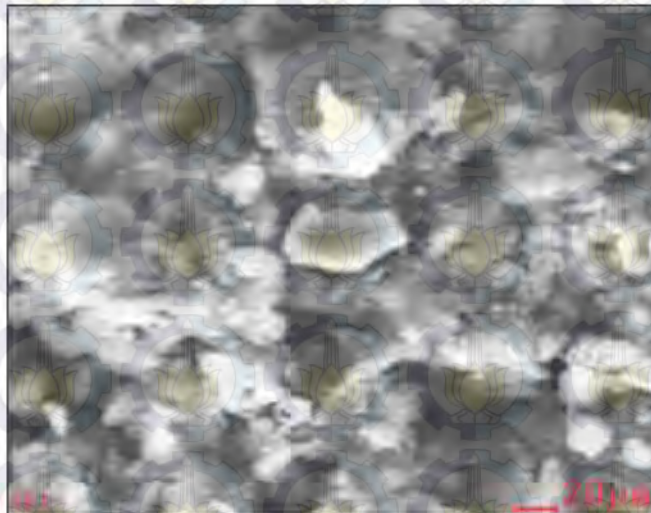
Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*

12/25/2014



Element	Wt%	At%
OK	44.29	61.33
NaK	01.02	00.98
MgK	01.09	00.99
AlK	10.31	08.47
SiK	26.91	21.23
MoL	05.08	01.17
KK	02.82	01.60
CaK	05.50	03.04
FeK	02.97	01.18
Matrix	Correction	ZAF



Rumus molekul untuk montmorillonite adalah :  $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33} (\text{Al}, \text{Mg})_2 (\text{Si}_4\text{O}_{10}) (\text{OH})_2 \cdot \text{N} \cdot \text{H}_2\text{O}$

Elemen penyusun utama adalah : Al, H, Na, O, Si

Elemen penyusun senyawa : Al, Na, Ca, Mg, Si, O, H

Impuritas atau unsur pemapu lain : Fe, K

## Simpulan:

merujuk pada hasil EDX unsur-unsur pemapu pembentuk montmorillonite teridentifikasi di sampel uji tersebut dengan menyisakan unsur H karena unsur tersebut tidak dapat terdeteksi oleh alat uji karena sensitivitas SEM/EDX tidak mampu mengidentifikasi unsur H (light element).



# Microanalysis Report

Prepared for:

Company Name Here

EDAX<sup>®</sup> TSL

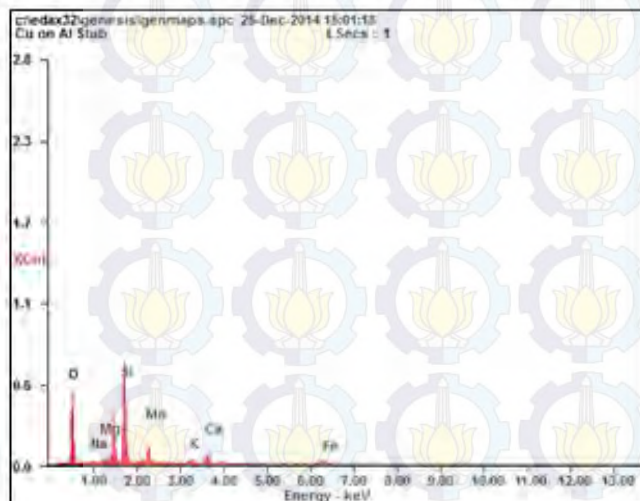
AMETEK

Prepared by:

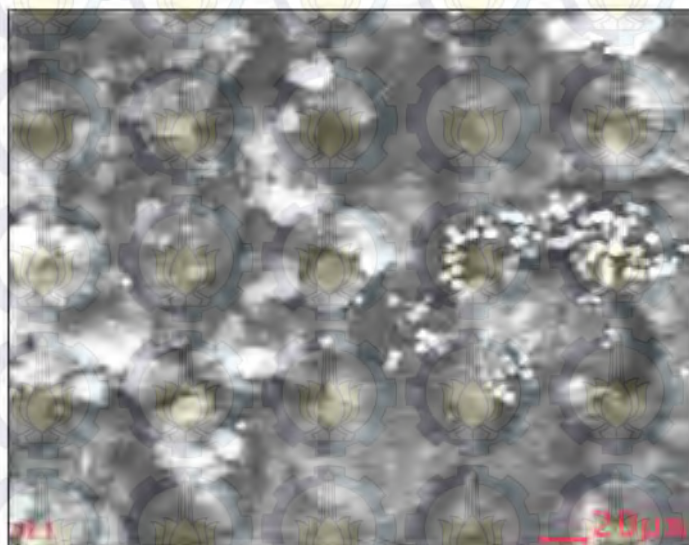
Your Name Here

12/25/2014

BERIKUT ADALAH HASIL PENGUJIAN EDX UNTUK SCANNING SELURUH AREA HASIL PENGAMBILAN DATA SEM BERDASARKAN DATA EDX SEPERTI PADA TABEL MENUNJUKKAN BEBERAPA UNSUR BERIKUT DENGAN PROSENTASE BERAT DAN ATOMIK. PADA HASIL EDX DATA UNSUR DAN AT% DAPAT DIGUNAKAN UNTUK PERKIRAAN SENYAWA YANG TERIDENTIFIKASI. APABILA DIDUGA PADA SAMPEL TERDAPAT MONTMORILONITE, MAKA KOMPOSISI UNSUR YANG TERIDENTIFIKASI HARUS BERSESUAIAN DENGAN PENYUSUN SENYAWA MONTMORILONITE.



Element	Wt%	At%
OK	51.09	70.73
NaK	00.94	00.91
MgK	01.50	01.36
SiK	24.78	19.54
MoL	12.52	02.89
KK	01.61	00.91
CaK	04.22	02.33
FeK	03.35	01.33
Matrix	Correction	ZAF



Rumus molekul untuk montmorillonite adalah :  $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33} (\text{Al}, \text{Mg})_2 (\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Elemen penyusun utama adalah : Al, H, Na, O, Si

Elemen penyusun senyawa : Al, Na, Ca, Mg, Si, O, H

Impuritas atau unsur pemapu lain : Fe, K

Simpulan:

merujuk pada hasil EDX unsur-unsur pemapu pembentuk montmorillonite teridentifikasi di sampel uji tersebut dengan menyisakan unsur H karena unsur tersebut tidak dapat terdeteksi oleh alat uji karena sensitivitas SEM/EDX tidak mampu mengidentifikasi unsur H (light element).



# Microanalysis Report

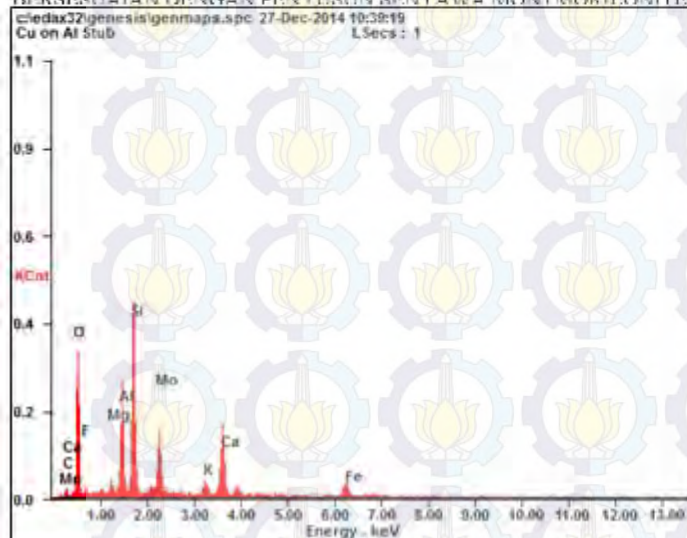
Prepared for: *Company Name Here*

Prepared by: *Your Name Here*

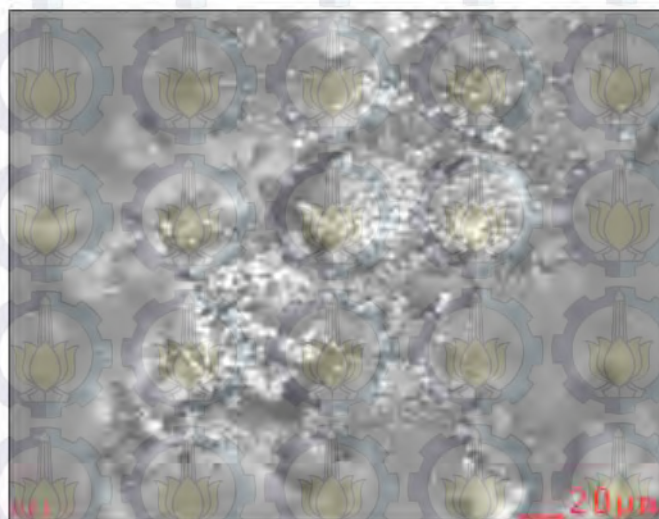
12/27/2014



BERIKUT ADALAH HASIL PENGULIAN EDX UNTUK SCANNING SELURUH AREA HASIL PENGAMBILAN DATA SEM BERDASARKAN DATA EDX SEPERTI PADA TABEL MENUNJUKKAN BEBERAPA UNSUR BERIKUT DENGAN PROSENTASE BERAT DAN ATOMIK. PADA HASIL EDX DATA UNSUR DAN AT% DAPAT DIGUNAKAN UNTUK PERKIRAAN SENYAWA YANG TERIDENTIFIKASI. APABILA DIDUGA PADA SAMPEL TERDAPAT MONTMORILONITE, MAKA KOMPOSISI UNSUR YANG TERIDENTIFIKASI HARUS BERSesuaian DENGAN PENYUSUN SENYAWA MONTMORILONITE.



Element	Wt%	At%
CK	03.17	06.09
OK	40.56	58.42
FK	02.01	02.44
MgK	01.21	01.14
AlK	09.21	07.87
SiK	17.07	14.00
MoL	14.56	03.50
KK	01.43	00.84
CaK	07.67	04.41
FeK	03.11	01.28
Matrix	Correction	ZAF



Rumus molekul untuk montmorilonite adalah :  $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33} (\text{Al}, \text{Mg})_2 (\text{Si}_4\text{O}_{10}) (\text{OH})_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$

Elemen penyusun utama adalah : Al, H, Na, O, Si

Elemen penyusun senyawa : Al, Na, Ca, Mg, Si, O, H

Impuritas atau unsur pemapu lain : Fe, K

## Simpulan:

merujuk pada hasil EDX unsur-unsur pemapu pembentuk montmorilonite teridentifikasi di sampel uji tersebut dengan menyisakan unsur H karena unsur tersebut tidak dapat terdeteksi oleh alat uji karena sensitivitas SEM/EDX tidak mampu mengidentifikasi unsur H (light element).



# VOLUMETRI GRAVIMETRI (INITIAL)

Kondisi : Inisial

Lokasi : Desa Meliwang, Kec. Kerek, Kab Tuban

Benda Uji	Clay Shale								kering udara 7 hari + oven 7hr (30°)		
	-10		-12		-14		-16		1	2	3
Kedalaman lereng (m)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	3
No. cawan	146	147	93	93	106	220	221	143	28	123	179
Berat cawan (W <sub>1</sub> ) gr	86.51	49.49	47.79	47.79	48.02	48.02	42.88	43.74	50.23	40.86	38.65
Berat cawan + tanah basah (W <sub>2</sub> ) gr	102.64	64.02	62.15	62.05	75.81	75.81	59.59	63.98	66.90	59.34	59.92
Berat cawan + tanah kering (W <sub>3</sub> ) gr	99.82	61.67	59.52	59.52	72.05	72.05	57.06	60.94	66.39	58.83	59.27
Berat cawan peluberan (W <sub>4</sub> ) gr	97.05	97.05	97.04	97.04	97.03	97.03	97.03	97.03	97.03	97.03	97.02
Berat cawan peluberan + Hg luber (W <sub>5</sub> ) gr	214.71	198.71	192.50	192.50	286.82	287.82	204.35	227.95	215.30	224.62	248.01
Berat Hg luber (W <sub>6</sub> = W <sub>5</sub> - W <sub>4</sub> ) gr	117.67	101.66	95.46	95.46	189.79	190.79	107.32	130.93	118.27	127.60	150.99
Berat tanah basah (W <sub>7</sub> = W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> ) gr	16.14	14.53	14.37	14.27	27.79	27.79	16.71	20.23	16.66	18.49	21.26
Volume tanah $V = \frac{W_6}{\gamma_{maks}} = \frac{W_6}{13,6}$ cc	8.65	7.48	7.02	7.02	13.96	14.03	7.89	9.63	8.70	9.38	11.10
Berat air (W <sub>8</sub> = W <sub>2</sub> - W <sub>3</sub> ) gr	2.82	2.35	2.63	2.53	3.76	3.76	2.53	3.03	0.51	0.52	0.65
Berat tanah kering (W <sub>9</sub> = W <sub>3</sub> - W <sub>1</sub> ) gr	13.32	12.18	11.74	11.74	24.03	24.03	14.18	17.20	16.15	17.97	20.61
Kadar air $\omega = \frac{W_8}{W_9} \times 100\%$ %	21.16	19.33	22.40	21.55	15.63	15.65	17.81	17.63	3.15	2.87	3.15
Kadar air rata-rata, w rata-rata %	20.242		21.975		15.638		17.721		3.06		
Berat volume tanah, $\square$ gr/cc	1.87	1.94	2.05		1.99	1.98	2.12	2.10	1.92	1.97	1.92
Berat volume tanah, $\square$ rata-rata gr/cc	1.905		2.047		1.986		2.110		1.94		
Berat volume tanah kering, $\square_d$ gr/cc	1.54	1.63	1.67		1.72	1.71	1.80	1.79	1.86	1.92	1.86
Berat volume tanah kering, $\square_d$ gr/cc	1.584		1.672		1.717		1.792		1.88		
No. piknometer	19	1	20	20	46	25	46	25	46	25	46
Berat piknometer (W <sub>10</sub> ) gr	88.24	82.38	87.77	87.77	100.07	99.57	84.70	100.07	84.70	100.07	99.57
Berat piknometer + air (W <sub>11</sub> ) gr	336.47	330.57	336.02	336.02	348.45	347.95	333.06	348.45	333.06	348.45	347.95
Berat piknometer + tanah + air (W <sub>12</sub> ) gr	355.23	349.33	354.77	354.77	367.48	366.98	351.78	367.48	351.78	367.48	366.98
Berat piknometer + tanah kering (W <sub>13</sub> ) gr	118.39	112.64	117.82	117.82	130.43	129.93	114.77	130.43	114.77	130.43	129.93
Temperatur campuran tanah + air (T <sub>1</sub> °C) °C	27.00	27.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	20.00	20.00	20.00
$G_s \left( \text{pada } T_1, ^\circ C \right) = \frac{W_{13} - W_{10}}{\alpha(W_{11} - W_{10}) - \alpha(W_{12} - W_{13})}$	2.65	2.63	2.66	2.66	2.68	2.68	2.65	2.68	2.65	2.68	2.68
Corection factor, a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Gs (pada 20°C) = a.Gs (pada T <sub>1</sub> °C)	2.64	2.63	2.65	2.65	2.67	2.67	2.65	2.67	2.65	2.67	2.67
Gs rata-rata	2.635		2.654		2.672		2.659		2.66		
Void Ratio [e = { (1 + w)Gs } / $\square$ - 1]	0.663		0.582		0.556		0.484		0.41		
Porosity [n = e / (1 + e)] %	39.883		36.788		35.734		32.603		29.21		
Degree of Saturation (Sr = (w% X Gs) %	80.399		100		75.162		97.407		19.74		

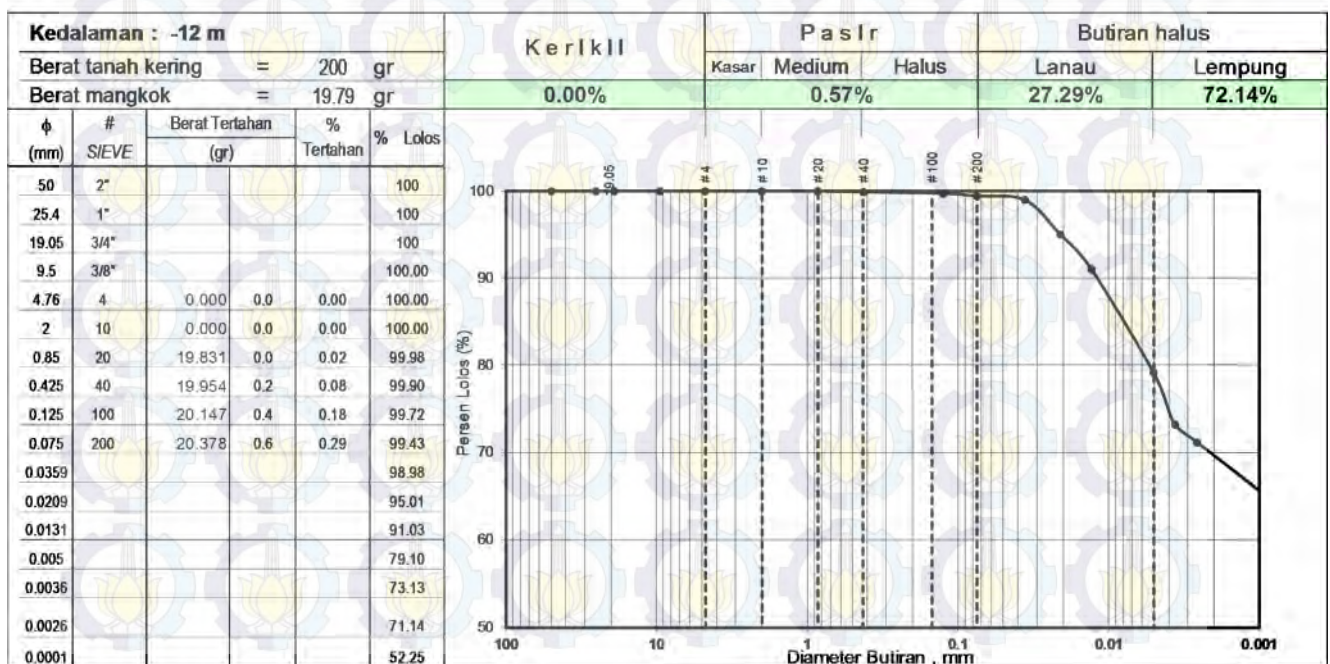
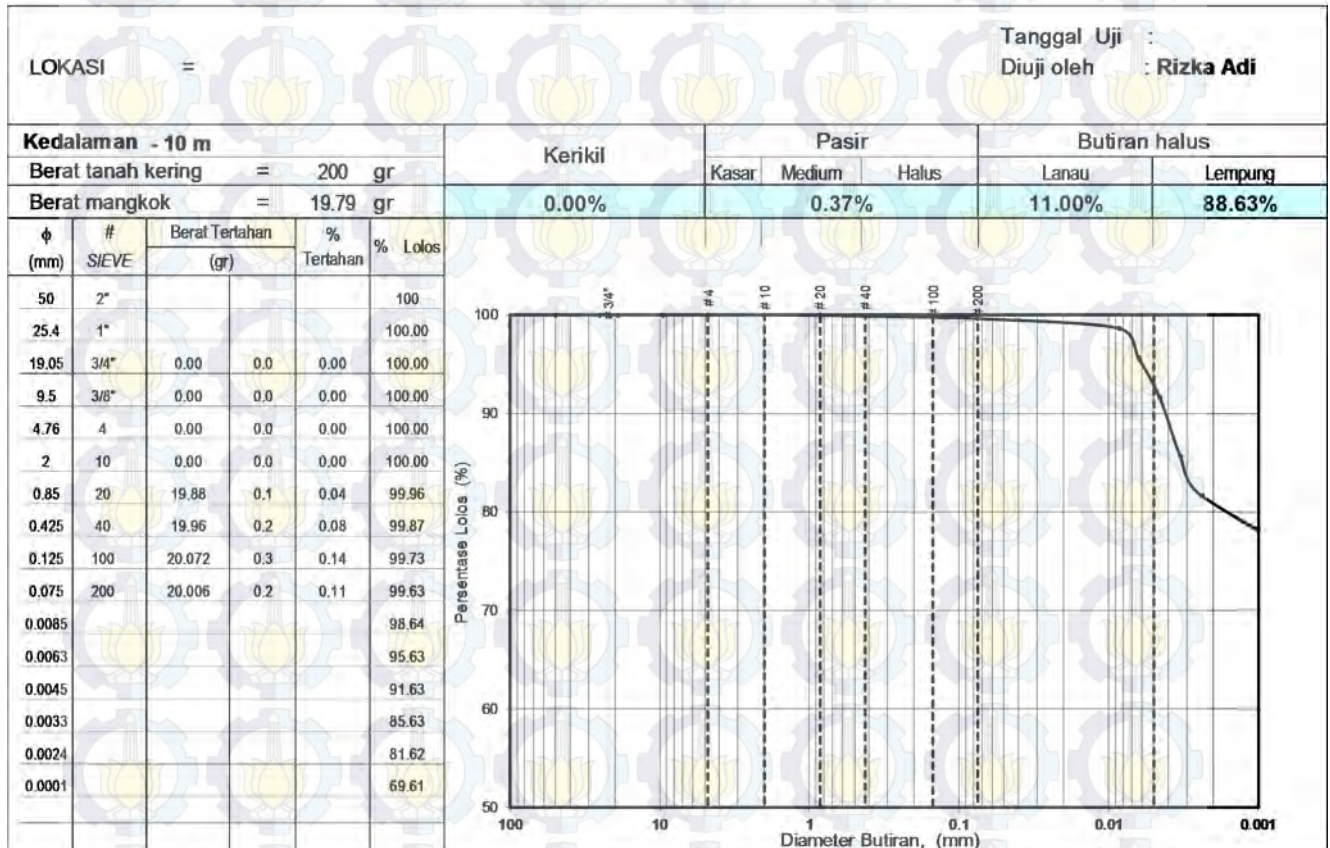


**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH DAN BATUAN****JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS**

Kampus ITS, Keputih, Sukolilo Surabaya (60111)

t-5928601, 5994251 - 55 psw. 1140 Fax. 031-5928601

e-mail itslabsoil@telkon.net

**ANALISA PEMBAGIAN BUTIR****ASTMD 422-90; AASHTO T87-72; SNI 03-3423-1990**





# LABORATORIUM MEKANIK TANAH DAN BATUAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

Kampus ITS, Keputih, Sukolilo Surabaya (60111)

Telp. 031-5928601, 5994251 - 55 psw. 1140 Fax. 031-5928601

e-mail itslabsoil@telkon.net

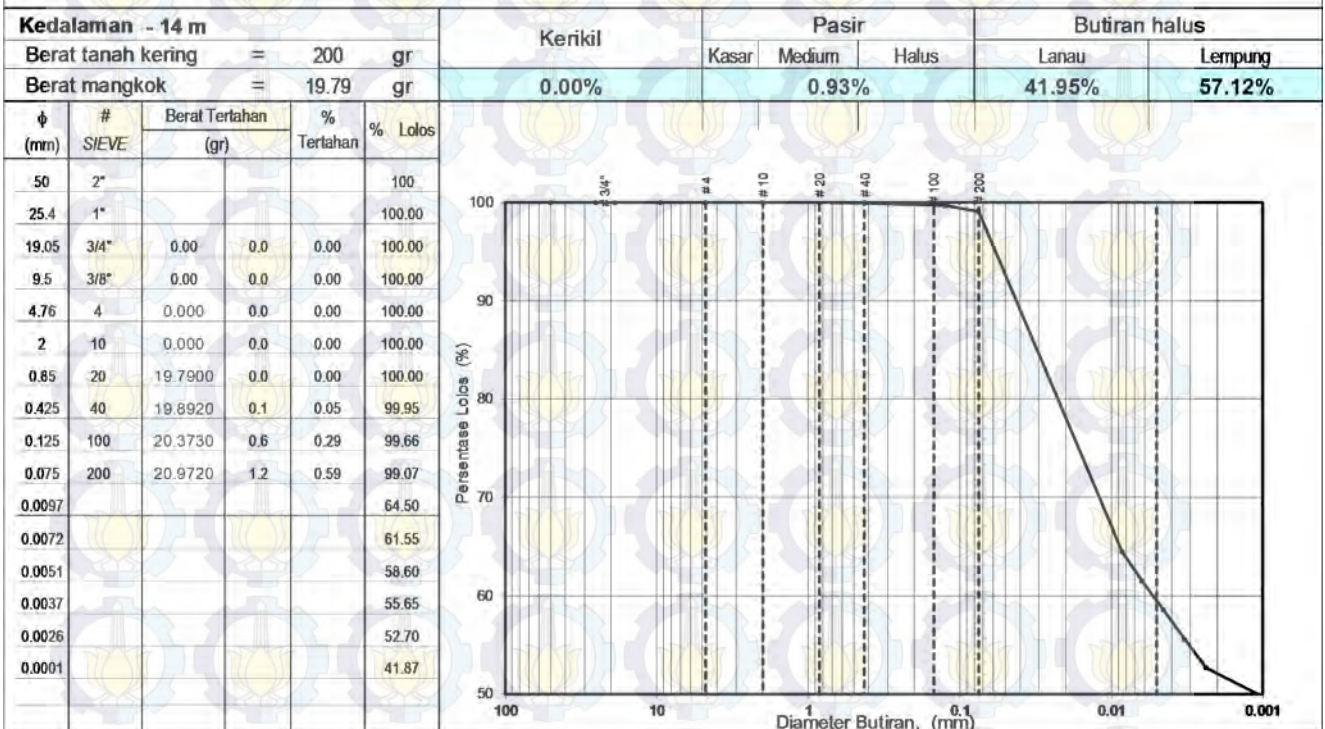
## ANALISA PEMBAGIAN BUTIR

ASTM D 422-90; AASHTO T87-72; SNI 03-3423-1990

LOKASI = Desa Meliwang, Kec Kerek, Tuban

Tanggal Uji :

Diuji oleh : Rizka Adi





## ANALISIS GRADASI - METODA HIDROMETER

Kedalaman		= - 10 m		Gs = 2.63		Korekai, a = 1.0046		
				Ct = 2.275		Koreksi, Zo = 2		
WAKTU	TEMPE- RATUR	Ra'	Rc	L	L/t	K	% LOLOS	D (mm)
0.5	28.5	51.5	51.78	7.9	15.778	0.0118	104.03	0.0469
1	28.5	51	51.28	8.0	7.971	0.0118	103.02	0.0333
2	28.5	50.5	50.78	8.1	4.026	0.0118	102.02	0.0237
3	28.5	50.5	50.78	8.1	2.684	0.0118	102.02	0.0193
4	28.5	50.5	50.78	8.1	2.013	0.0118	102.02	0.0167
8	28.5	49.5	49.78	8.2	1.027	0.0118	100.01	0.0120
16	28.5	49	49.28	8.3	0.519	0.0118	99.01	0.0085
30	28.5	47.5	47.78	8.5	0.285	0.0118	95.99	0.0063
60	28.5	45.5	45.78	8.9	0.148	0.0118	91.97	0.0045
120	28.5	42.5	42.78	9.4	0.078	0.0118	85.95	0.0033
240	28.5	40.5	40.78	9.7	0.040	0.0118	81.93	0.0024
1440	28.5	34.5	34.78	10.7	0.007	0.0118	69.87	0.0001

Kedalaman		= - 12 m			Gs = 2.65		Korekai, a = 1	
					Ct = 2.275		Koreksi, Z <sub>0</sub> = 2	
WAKTU	TEMPE- RATUR	Ra'	Rc	L	L/t	K	% LOLOS	D (mm)
0.5	28.5	49.5	49.78	8.2	16.431	0.0124	99.55	0.0503
1	28.5	48.5	48.78	8.4	8.379	0.0124	97.55	0.0359
2	28.5	47.5	47.78	8.5	4.271	0.0124	95.55	0.0256
3	28.5	47.5	47.78	8.5	2.847	0.0124	95.55	0.0209
4	28.5	47	47.28	8.6	2.156	0.0124	94.55	0.0182
8	28.5	45.5	45.78	8.9	1.109	0.0124	91.55	0.0131
16	28.5	44	44.28	9.1	0.570	0.0124	88.55	0.0094
30	28.5	42.5	42.78	9.4	0.312	0.0124	85.55	0.0069
60	28.5	39.5	39.78	9.8	0.164	0.0124	79.55	0.0050
120	28.5	36.5	36.78	10.3	0.086	0.0124	73.55	0.0036
240	28.5	35.5	35.78	10.5	0.044	0.0124	71.55	0.0026
1440	28.5	26	26.28	12.1	0.008	0.0124	52.55	0.0001



## ANALISIS GRADASI - METODA HIDROMETER

Kedalaman		= - 14 m				G <sub>s</sub> = 2.68	Korekai, a = 0.9933	
						C <sub>t</sub> = 2.275	Koreksi, Z <sub>0</sub> = 3	
WAKTU	TEMPE-RATUR	Ra'	Rc	L	L/t	K	% LOLOS	D (mm)
0.5	28.5	50.5	49.78	8.1	16.105	0.0118	98.88	0.0474
1	28.5	48.5	47.78	8.4	8.379	0.0118	94.91	0.0342
2	28.5	45.5	44.78	8.9	4.434	0.0118	88.95	0.0248
3	28.5	43.5	42.78	9.2	3.065	0.0118	84.97	0.0207
4	28.5	41.5	40.78	9.5	2.380	0.0118	81.00	0.0182
8	28.5	38.5	37.78	10.0	1.251	0.0118	75.04	0.0132
16	28.5	33.5	32.78	10.8	0.677	0.0118	65.11	0.0097
30	28.5	32	31.28	11.1	0.369	0.0118	62.13	0.0072
60	28.5	30.5	29.78	11.3	0.189	0.0118	59.15	0.0051
120	28.5	29	28.28	11.6	0.096	0.0118	56.17	0.0037
240	28.5	27.5	26.78	11.8	0.049	0.0118	53.19	0.0026
1440	28.5	22	21.28	12.7	0.009	0.0118	42.26	0.0001

Kedalaman		= - 16 m				G <sub>s</sub> = 2.66	Korekai, a = 0.9977	
						C <sub>t</sub> = 2.15	Koreksi, Z <sub>0</sub> = 3	
WAKTU	TEMPE-RATUR	Ra'	Rc	L	L/t	K	% LOLOS	D (mm)
0.5	28	50	49.15	8.1	16.268	0.0124	98.08	0.0500
1	28	48	47.15	8.5	8.460	0.0124	94.09	0.0361
2	28	44	43.15	9.1	4.557	0.0124	86.10	0.0265
3	28	42	41.15	9.4	3.147	0.0124	82.11	0.0220
4	28	40.5	39.65	9.7	2.421	0.0124	79.12	0.0193
8	28	38	37.15	10.1	1.262	0.0124	74.13	0.0139
16	28	35	34.15	10.6	0.661	0.0124	68.14	0.0101
30	28	33	32.15	10.9	0.364	0.0124	64.15	0.0075
60	28	31.5	30.65	11.2	0.186	0.0124	61.16	0.0053
120	28	29.5	28.65	11.5	0.096	0.0124	57.17	0.0038
240	28	28	27.15	11.7	0.049	0.0124	54.18	0.0027
1440	28	19	18.15	13.2	0.009	0.0124	36.22	0.0001





## ATTERBERG LIMITS TEST

PROYEK : TESIS

LOKASI : Desa Meliwang, Kec Kerek Tuban

TANGGAL =

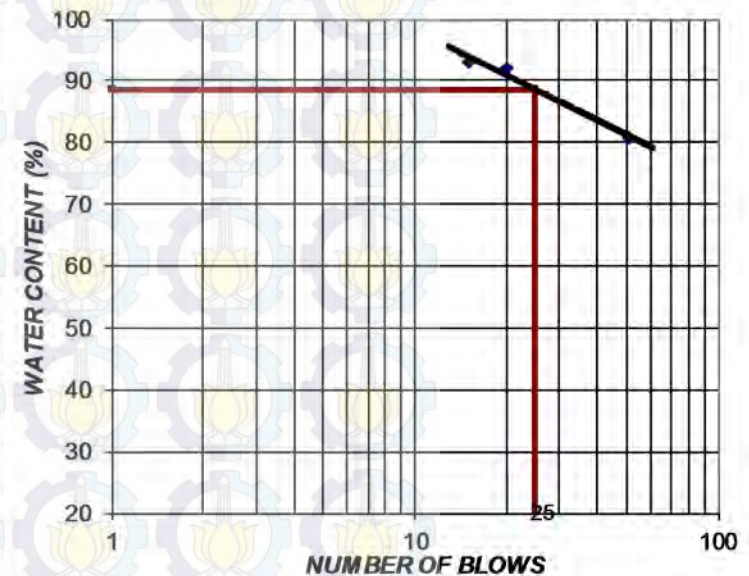
PENELITI = Rizka Adi Ariesnawan

### LIQUID LIMITS TEST

	unit	I	II	III
Jumlah Pukulan	N	51	20	15
Nomor Cawan		181	226	110
Berat Cawan Kosong	$w_1$ gr	39.53	48.56	42.48
Berat Cawan + Tanah Basah	$w_2$ gr	54.03	66.42	59.07
Berat Cawan + Tanah Kering	$w_3$ gr	47.55	57.86	51.07
Berat Tanah Basah	$w_3 = w_2 - w_1$ gr	14.50	17.86	16.60
Berat Tanah Kering	$w_4 = w_3 - w_1$ gr	8.03	9.30	8.60
Berat Air	$w_5 = w_3 - w_4$ gr	6.48	8.56	8.00
Kadar Air	$w_c = w_5 / w_4$ %	80.74	92.05	93.09

### PLASTIC LIMITS TEST

	unit	I	II	III
Nomor Cawan		51	53	162
Berat Cawan Kosong	$w_1$ gr	39.66	39.66	39.66
Berat Cawan + Tanah Basah	$w_2$ gr	52.25	52.25	52.25
Berat Cawan + Tanah Kering	$w_3$ gr	49.39	49.39	49.39
Berat Tanah Basah	$w_3 = w_2 - w_1$ gr	12.59	12.59	12.59
Berat Tanah Kering	$w_4 = w_3 - w_1$ gr	9.73	9.73	9.73
Berat Air	$w_5 = w_3 - w_4$ gr	2.86	2.86	2.86
Kadar Air	$w_c = w_5 / w_4$ %	29.39	29.39	29.39



Depth = -10.00 m  
Batas Cair (Liquid Limits), LL = 88.55 %  
Batas Plastis (Plastic Limits), PL = 29.39 %  
Indeks Plastisitas (Plasticity Index), PI = 59.17 %





## ATTERBERG LIMITS TEST

PROYEK : TESIS

LOKASI : Desa Meliwang, Kec Kerek Tuban

TANGGAL =

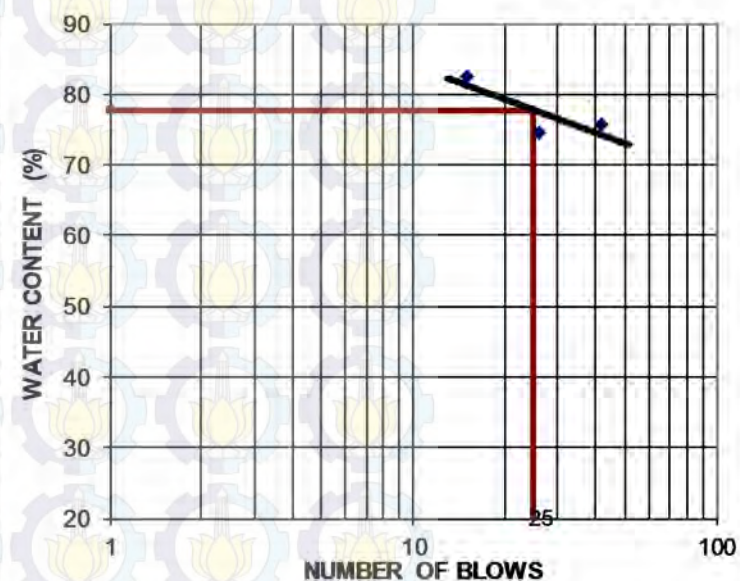
PENELITI = Rizka Adi Ariesnawan

### LIQUID LIMITS TEST

		unit	I	II	III
Jumlah Pukulan	N		42	26	15
Nomor Cawan			176	93	161
Berat Cawan Kosong	w <sub>1</sub>	gr	38.42	47.79	49.35
Berat Cawan + Tanah Basah	w <sub>2</sub>	gr	56.73	64.79	67.55
Berat Cawan + Tanah Kering	w <sub>3</sub>	gr	48.84	57.52	59.32
Berat Tanah Basah	w <sub>3</sub> = w <sub>2</sub> - w <sub>1</sub>	gr	18.32	17.00	18.21
Berat Tanah Kering	w <sub>4</sub> = w <sub>3</sub> - w <sub>1</sub>	gr	10.43	9.74	9.97
Berat Air	w <sub>5</sub> = w <sub>3</sub> - w <sub>4</sub>	gr	7.89	7.27	8.24
Kadar Air	w <sub>c</sub> = w <sub>5</sub> / w <sub>4</sub>	%	75.71	74.65	82.60

### PLASTIC LIMITS TEST

		unit	I	II	III
Nomor Cawan			148	88	162
Berat Cawan Kosong	w <sub>1</sub>	gr	49.70	49.70	49.70
Berat Cawan + Tanah Basah	w <sub>2</sub>	gr	63.91	63.91	63.91
Berat Cawan + Tanah Kering	w <sub>3</sub>	gr	60.88	60.88	60.88
Berat Tanah Basah	w <sub>3</sub> = w <sub>2</sub> - w <sub>1</sub>	gr	14.21	14.21	14.21
Berat Tanah Kering	w <sub>4</sub> = w <sub>3</sub> - w <sub>1</sub>	gr	11.18	11.18	11.18
Berat Air	w <sub>5</sub> = w <sub>3</sub> - w <sub>4</sub>	gr	3.03	3.03	3.03
Kadar Air	w <sub>c</sub> = w <sub>5</sub> / w <sub>4</sub>	%	27.10	27.10	27.10



Depth = -12.00 m  
 Batas Cair (Liquid Limits), LL = 77.76 %  
 Batas Plastis (Plastic Limits), PL = 27.10 %  
 Indeks Plastisitas (Plasticity Index), PI = 50.66 %





## ATTERBERG LIMITS TEST

PROYEK : TESIS  
LOKASI : Desa Meliwang, Kec Kerek Tuban

TANGGAL :  
PENELITI : Rizka Adi Ariesnawan

### LIQUID LIMITS TEST

	unit	I	II	III
Jumlah Pukulan	N	40	25	18
Nomor Cawan		156	215	184
Berat Cawan Kosong	$w_1$ gr	38.68	42.59	49.35
Berat Cawan + Tanah Basah	$w_2$ gr	58.70	64.93	66.75
Berat Cawan + Tanah Kering	$w_3$ gr	50.69	55.75	59.32
Berat Tanah Basah	$w_3 = w_2 - w_1$ gr	20.02	22.35	17.41
Berat Tanah Kering	$w_4 = w_3 - w_1$ gr	12.01	13.16	9.97
Berat Air	$w_5 = w_3 - w_4$ gr	8.01	9.19	7.44
Kadar Air	$w_c = w_5 / w_4$ %	66.67	69.82	74.57

### PLASTIC LIMITS TEST

	unit	I	II	III
Nomor Cawan		32	29	162
Berat Cawan Kosong	$w_1$ gr	40.51	40.51	40.51
Berat Cawan + Tanah Basah	$w_2$ gr	57.88	57.88	57.88
Berat Cawan + Tanah Kering	$w_3$ gr	54.50	54.50	54.50
Berat Tanah Basah	$w_3 = w_2 - w_1$ gr	17.37	17.37	17.37
Berat Tanah Kering	$w_4 = w_3 - w_1$ gr	13.99	13.99	13.99
Berat Air	$w_5 = w_3 - w_4$ gr	3.38	3.38	3.38
Kadar Air	$w_c = w_5 / w_4$ %	24.18	24.18	24.18



Depth = -14.00 m  
Batas Cair (Liquid Limits), LL = 70.81 %  
Batas Plastis (Plastic Limits), PL = 24.18 %  
Indeks Plastisitas (Plasticity Index), PI = 46.63 %





## ATTERBERG LIMITS TEST

PROYEK : TESIS  
LOKASI : Desa Meliwang, Kec Kerek Tuban

TANGGAL =  
PENELITI = Rizka Adi Ariesnawan

### LIQUID LIMITS TEST

	unit	I	II	III
Jumlah Pukulan	N	46	28	17
Nomor Cawan		12	122	210
Berat Cawan Kosong	$w_1$ gr	49.02	42.77	43.64
Berat Cawan + Tanah Basah	$w_2$ gr	69.26	65.91	71.02
Berat Cawan + Tanah Kering	$w_3$ gr	61.49	56.91	59.69
Berat Tanah Basah	$w_3 = w_2 - w_1$ gr	20.24	23.14	27.39
Berat Tanah Kering	$w_4 = w_3 - w_1$ gr	12.46	14.15	16.05
Berat Air	$w_5 = w_3 - w_4$ gr	7.78	9.00	11.34
Kadar Air	$w_c = w_5 / w_4$ %	62.40	63.61	70.61

### PLASTIC LIMITS TEST

	unit	I	II	III
Nomor Cawan		61	47	162
Berat Cawan Kosong	$w_1$ gr	40.49	40.49	40.49
Berat Cawan + Tanah Basah	$w_2$ gr	49.77	49.57	49.87
Berat Cawan + Tanah Kering	$w_3$ gr	48.13	48.13	48.13
Berat Tanah Basah	$w_3 = w_2 - w_1$ gr	9.28	9.08	9.38
Berat Tanah Kering	$w_4 = w_3 - w_1$ gr	7.63	7.63	7.63
Berat Air	$w_5 = w_3 - w_4$ gr	1.65	1.45	1.75
Kadar Air	$w_c = w_5 / w_4$ %	21.57	18.95	22.88



Depth = -16.00 m  
Batas Cair (Liquid Limits), LL = 66.47 %  
Batas Plastis (Plastic Limits), PL = 21.13 %  
Indeks Plastisitas (Plasticity Index), PI = 45.34 %



## HASIL PENGUJIAN TES KEAUSAN BATUAN

Lokasi : Desa Meliwang, Kec. Kerek - Kab. Tuban  
 Penguji : Rizka Adi Ariesnawan  
 Tanggal

Kedalaman lereng (m)		-10		-12		-14		-16	
Kondisi benda uji		Awal ( <i>Initial</i> )		Awal ( <i>Initial</i> )		Awal ( <i>Initial</i> )		Awal ( <i>Initial</i> )	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Berat drum ( c )	( gram )	685	685	685	685	685	685	685	685
Berat sample	( gram )	552.66	552.34	571.69	551.23	718.57	708.06	606.44	616.44
Berat drum + sample ( kondisi kering oven, awal )	( gram )	1257.66	1279.34	1226.69	1236.69	1403.57	1393.06	1291.44	1301.44
Berat drum + sample ( kondisi kering, setelah siklus 1 )	( gram )	1108.53	1108.53	1083.63	1083.63	1241.38	1241.38	1171.9	1171.9
Berat drum + sample ( kondisi kering, setelah siklus 2 )	( gram )	767.84	849.26	808.87	808.87	839.88	839.88	822.56	822.56
Temperatur	( ° C )	27.5	27.5	27	27	27.3	27.3	27	27
Indeks Durability ( siklus 1 )	( % )	73.958	71.261	73.590	72.256	77.429	78.578	80.288	78.986
Indeks Durability ( siklus 1 ), rata-rata		72.609		72.923		78.003		79.637	
Klasifikasi durabilitas siklus 1	Tabel	Low durability		Low durability		Low durability		Low durability	
Indeks Durability ( siklus 2 )	( % )	14.466	27.637	22.867	22.453	21.554	21.874	22.683	22.315
Indeks Durability ( siklus 2 ), rata-rata		21.052		22.660		21.714		22.499	
Klasifikasi durabilitas siklus 2	Tabel	very low durability		very low durability		very low durability		very low durability	

	1 X 10 Menit ( BERAT KERING )	2 X 10 Menit ( BERAT KERING )
<i>Very high durability</i>	> 99	> 98
<i>High durability</i>	98 - 99	95 - 98
<i>Medium high durability</i>	95 - 98	85 - 95
<i>Medium durability</i>	85 - 95	60 - 85
<i>Low durability</i>	60 - 85	30 - 60
<i>Very low durability</i>	< 60	< 30

## SWELLING PRESSURE TEST

Diameter sampel = 63.3 mm  
 Ho = 25.2 mm  
 Berat sampel = 176.16 gr  
 Ao = 3147.0 mm<sup>2</sup>  
 Vo = 79304.5 mm<sup>3</sup>

Sampel = cs 10  
 Kedalaman (m) = 10

Kedalaman (m)	Tebal lapisan (m)	Berat isi $\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	Tegangan overburden (t/m <sup>2</sup> )
<b>10</b>	<b>10</b>	<b>1.905</b>	<b>19.05</b>
12	2	2.047	23.144
14	2	1.986	27.116
16	2	2.11	31.336

Waktu (menit)	Bacaan dial (div)	Deformasi (mm)	Swelling (%)
0	0.0	0.000	0.00
2	3.8	0.010	0.04
4	6.3	0.016	0.06
8	9.3	0.024	0.09
16	18.8	0.048	0.19
30	42.8	0.109	0.43
60	62.3	0.158	0.63
120	89.3	0.227	0.90
180	111.3	0.283	1.12
240	128.3	0.326	1.29
1440	178.0	0.452	1.79



## SWELLING PRESSURE TEST

Diameter sampel = 63.3 mm  
 Ho = 25.2 mm  
 Berat sampel = 174.84 gr  
 Ao = 3147.0 mm<sup>2</sup>  
 Vo = 79304.5 mm<sup>3</sup>

Sampel = cs 12  
 Kedalaman (m) = 12

Kedalaman (m)	Tebal lapisan (m)	Berat isi $\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	Tegangan overburden (t/m <sup>2</sup> )
10	10	1.905	19.05
<b>12</b>	<b>2</b>	<b>2.047</b>	<b>23.144</b>
14	2	1.986	27.116
16	2	2.11	31.336

Waktu (menit)	Bacaan dial (div)	Deformasi (mm)	Swelling (%)
0	0.0	0.000	0.00
2	0.2	0.001	0.00
4	1.2	0.003	0.01
8	5.2	0.013	0.05
16	9.2	0.023	0.09
30	31.7	0.081	0.32
60	49.2	0.125	0.50
120	79.2	0.201	0.80
180	102.2	0.260	1.03
240	121.2	0.308	1.22
1440	196.2	0.498	1.98

## SWELLING PRESSURE TEST

Diameter sampel = 63.3 mm  
 Ho = 25.2 mm  
 Berat sampel = 193.709 gr  
 Ao = 3147.0 mm<sup>2</sup>  
 Vo = 79304.5 mm<sup>3</sup>

Sampel cs 14  
 Kedalaman (m) = 14

Kedalaman (m)	Tebal lapisan (m)	Berat isi $\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	Tegangan overburden (t/m <sup>2</sup> )
10	10	1.905	19.05
12	2	2.047	23.144
<b>14</b>	<b>2</b>	<b>1.986</b>	<b>27.116</b>
16	2	2.11	31.336

Waktu (menit)	Bacaan dial (div)	Deformasi (mm)	Swelling (%)
0	0	0.000	0
2	2	0.005	0.02
4	4	0.010	0.04
8	7	0.018	0.07
16	8	0.020	0.08
30	12	0.030	0.12
60	22	0.056	0.22
120	41	0.104	0.41
180	70	0.178	0.71
240	104	0.264	1.05
1440	123	0.312	1.24



## SWELLING PRESSURE TEST

Diameter sampel = 63.3 mm  
 Ho = 25.2 mm  
 Berat sampel = 170.94 gr  
 Ao = 3147.0 mm<sup>2</sup>  
 Vo = 79304.5 mm<sup>3</sup>

Sampel = cs 16  
 Kedalaman (m) = 16

Kedalaman (m)	Tebal lapisan (m)	Berat isi $\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	Tegangan overburden (t/m <sup>2</sup> )
10	10	1.905	19.05
12	2	2.047	23.144
14	2	1.986	27.116
16	2	2.11	31.336

Waktu (menit)	Bacaan dial (div)	Deformasi (mm)	Swelling (%)
0	0.0	0.000	0.00
2	0.5	0.001	0.01
4	0.5	0.001	0.01
8	1.0	0.003	0.01
16	3.5	0.009	0.04
30	10.5	0.027	0.11
60	24.0	0.061	0.24
120	43.0	0.109	0.43
180	58.0	0.147	0.58
240	70.5	0.179	0.71
1440	141.0	0.358	1.42



## POINT LOAD TEST

Lokasi : Desa Mliwang, Kec. Kerek, Kab Tuban  
 Penguji : Rizka Adi Ariesnawan  
 Tanggal pengujian :  
 Pengkondisian : Inisial

Kedalaman	m	10		12		14		16	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Diameter sample	mm	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
Height of sample	mm	6	6	6	6	6	6	6	6
Weight of sample	gr								
Ao	mm <sup>2</sup>	113.41	113.41	113.41	113.41	113.41	113.41	113.41	113.41
Vo	mm <sup>3</sup>	6804.69	6804.69	6804.69	6804.69	6804.69	6804.69	6804.69	6804.69
LRC, proving ring	kg/div	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
Dial reading deform	div	12.00	12.00	13.00	13.00	16.00	16.00	20.00	20.00
Weight of proving ring	gr	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85
Weight of point load device	gr	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20
P	kg	30.56	30.56	32.76	32.76	39.36	39.36	48.16	48.16
Maksimum Loads, P	kg	30.56		32.76		39.36		48.16	
Point load strength Index, I <sub>c</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	2.12		2.27		2.73		3.34	

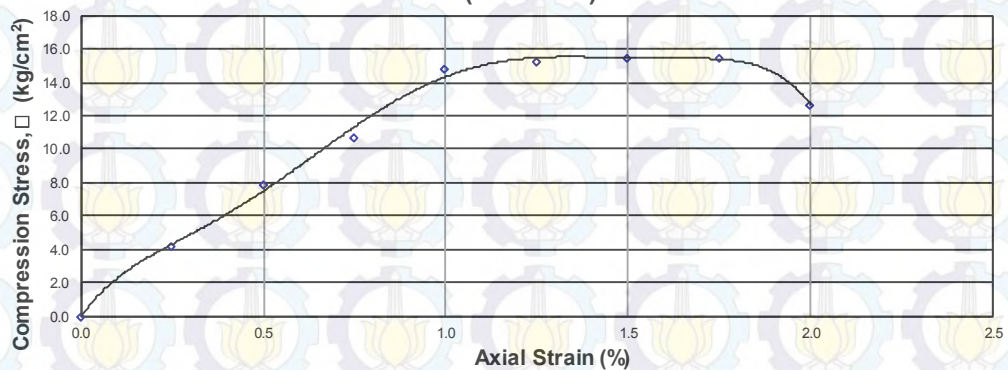
## UNCONFINED COMPRESSION TEST

Diameter sampel =	40	mm	Kondisi :	inisial
Ho =	80	mm	Kedalaman lereng :	10 m
Berat sampel =	182.19	gr		
Ao =	1256.6	mm <sup>2</sup>		
Vo =	100531.0	mm <sup>3</sup>		

Deformasi	Regangan	$A = A_o / (1 - \epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	12.566	0	0.000	0.0000
0.200	0.250	12.598	120	52.560	4.1721
0.400	0.500	12.630	228	99.864	7.9072
0.600	0.750	12.661	310	135.780	10.7240
0.800	1.000	12.693	430	188.340	14.8377
1.000	1.250	12.725	444	194.472	15.2821
1.200	1.500	12.758	450	197.100	15.4494
1.400	1.750	12.790	450	197.100	15.4102
1.600	2.000	12.823	370	162.060	12.6384

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
15.449	1581.438

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(Wet 100%)**





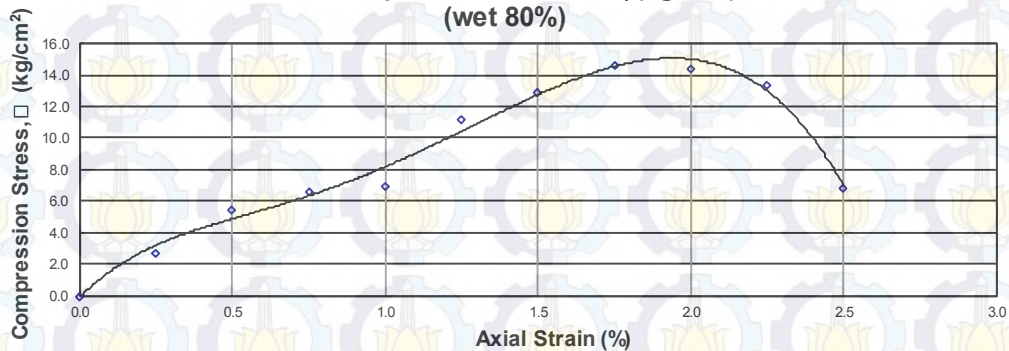
## UNCONFINED COMPRESSION TEST

Diameter sampel =	40	mm	Kondisi :	inisial
Ho =	80	mm	Kedalaman lereng :	12 m
Berat sampel =	205.9	gr		
Ao =	1256.6	mm <sup>2</sup>		
Vo =	100531.0	mm <sup>3</sup>		

Deformasi	Regangan $\square$	$A=A_o/(1-\square)$	Bacaan Dial Beban	P	Tegangan $\square_1-\square_3$
mm	%	cm <sup>2</sup>	Div	kg	kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	12.566	0	0.000	0.0000
0.200	0.250	12.598	9	34.528	2.7408
0.400	0.500	12.630	18	69.056	5.4678
0.600	0.750	12.661	22	84.402	6.6661
0.800	1.000	12.693	23	88.239	6.9516
1.000	1.250	12.725	37	141.949	11.1547
1.200	1.500	12.758	43	164.968	12.9308
1.400	1.750	12.790	49	187.986	14.6977
1.600	2.000	12.823	48	184.150	14.3611
1.800	2.250	12.856	45	172.641	13.4292
2.000	2.500	12.889	23	88.239	6.8463

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
14.698	695.158

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 80%)**



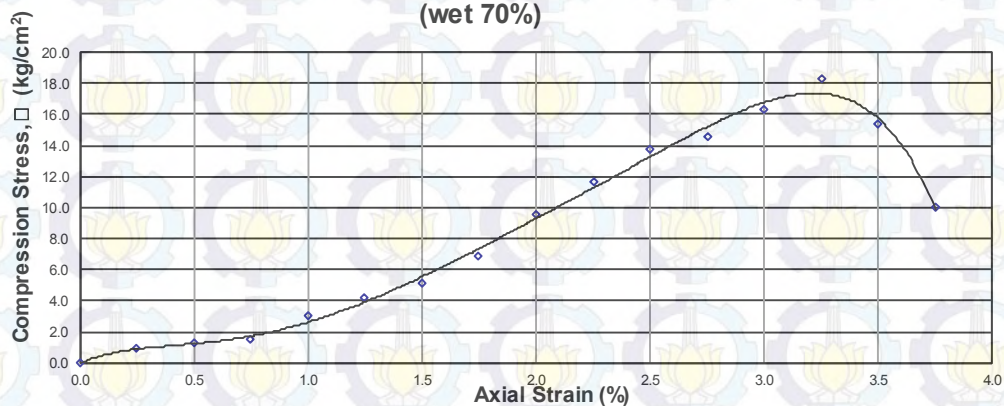
## UNCONFINED COMPRESSION TEST

Diameter sampel =	40	mm	Kondisi :	inisial
Ho =	80	mm	Kedalaman lereng :	14 m
Berat sampel =	193.709	gr		
Ao =	1256.6	mm <sup>2</sup>		
Vo =	100531.0	mm <sup>3</sup>		

Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	kg/cm <sup>2</sup>
			Div		
0.00	0.000	12.566	0	0.000	0.0000
0.200	0.250	12.598	3	11.509	0.9136
0.400	0.500	12.630	4	15.346	1.2151
0.600	0.750	12.661	5	19.182	1.5150
0.800	1.000	12.693	10	38.365	3.0224
1.000	1.250	12.725	14	53.710	4.2207
1.200	1.500	12.758	17	65.220	5.1122
1.400	1.750	12.790	23	88.239	6.8989
1.600	2.000	12.823	32	122.767	9.5741
1.800	2.250	12.856	39	149.622	11.6386
2.000	2.500	12.889	46	176.477	13.6925
2.200	2.750	12.922	49	187.986	14.5481
2.400	3.000	12.955	55	211.005	16.2875
2.600	3.250	12.988	62	237.860	18.3132
2.800	3.500	13.022	52	199.496	15.3197
3.000	3.750	13.056	34	130.440	9.9908

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
18.313	478.703

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 70%)**





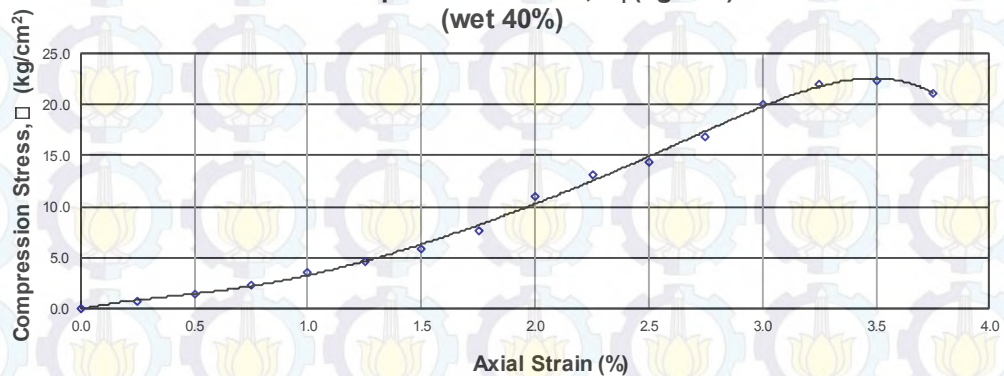
## UNCONFINED COMPRESSION TEST

Diameter sampel =	40	mm	Kondisi :	inisial
Ho =	80	mm	Kedalaman lereng :	16 m
Berat sampel =	188976	gr		
Ao =	1256.6	mm <sup>2</sup>		
Vo =	100531.0	mm <sup>3</sup>		

Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	kg/cm <sup>2</sup>
			Div		
0.00	0.000	12.566	0	0.000	0.0000
0.200	0.250	12.598	2	8.952	0.7106
0.400	0.500	12.630	5	17.903	1.4176
0.600	0.750	12.661	8	29.413	2.3230
0.800	1.000	12.693	12	46.037	3.6269
1.000	1.250	12.725	15	58.826	4.6227
1.200	1.500	12.758	20	75.450	5.9141
1.400	1.750	12.790	25	97.190	7.5988
1.600	2.000	12.823	37	141.949	11.0700
1.800	2.250	12.856	44	168.804	13.1308
2.000	2.500	12.889	48	185.429	14.3871
2.200	2.750	12.922	57	218.678	16.9233
2.400	3.000	12.955	68	259.600	20.0386
2.600	3.250	12.988	75	286.455	22.0546
2.800	3.500	13.022	76	291.571	22.3904
3.000	3.750	13.056	72	276.225	21.1570

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
22.390	553.501

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 40%)**



## HASIL PENGUJIAN TES ELEMEN BENDER (TICO)

Lokasi : Desa Mliwang, Kec. Kerek, Kab Tuban  
 Penguji : Rizka Adi Ariesnawan  
 Tanggal pengujian :  
 Pengkondisian : Awal (*Initial*)

Kedalaman Lereng (m)		-10		-12		-14		-16	
Kondisi benda uji		Awal ( <i>Initial</i> )		Awal ( <i>Initial</i> )		Awal ( <i>Initial</i> )		Awal ( <i>Initial</i> )	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Tinggi sample ( H )	( m )	0.042	0.043	0.039	0.03	0.041	0.041	0.049	0.049
Diameter sample ( D )	( m )	0.038	0.0365	0.039	0.0385	0.037	0.037	0.038	0.038
Waktu rambat gelombang ( t ), bacaan alat	( $\mu$ )	37.2	36.8	40.5	20.2	29.8	30.2	36.5	36.9
Waktu rambat gelombang ( t )	( detik )	0.0000372	0.0000368	0.0000405	0.0000202	0.0000298	0.0000302	0.0000365	0.0000369
Kecepatan rambat gelombang primer ( Vp )	( m/detik )	1129.032	1168.478	962.963	1485.149	1375.839	1357.616	1342.466	1327.913
Kecepatan rambat gelombang primer ( Vp ), rata - rata	( m/detik )	1148.755		1224.056		1366.727		1335.190	
Kecepatan rambat gelombang geser ( Vs )	( m/detik )	460.925	477.029	393.128	606.309	561.684	554.244	548.059	542.118
Kecepatan rambat gelombang geser ( Vs ), rata - rata	( m/detik )	468.977		499.719		557.964		545.089	
Berat volume ( $\gamma$ )	( $\text{ton/m}^3$ )	1.905		2.047		1.987		2.110	
Ratio berat volume dengan gravitasi ( $\rho$ )	( $\text{ton/m}^3 \cdot \text{detik}^2/\text{m}$ )	0.191		0.205		0.199		0.211	
Modulus geser maksimum ( Gmaks ), rata - rata	( $\text{ton/m}^2$ )	41898.527		51117.426		61860.073		62692.708	



Proyek : Tesis  
Lokasi : Desa Mliwang, Kec. Kerek, Kab Tuban

[illegible]







Proyek : Tesis  
Lokasi : Desa Mliwang, Kec. Kerek, Kab Tuban

Fase D-W		Pembasahan 2										
		dry 100%	wet 10%	wet 20%	wet 30%	wet 40%	wet 50%	wet 60%	wet 70%	wet 80%	wet 90%	wet 100%
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
No. cawan		177	210	25	226	45	197	57	78	201	104	148
Berat cawan (W1)	gr	38.88	43.63	48.77	48.56	38.45	39.91	38.70	41.56	41.59	52.73	49.70
Berat cawan + tanah basah (W2)	gr	55.28	57.81	68.28	71.18	58.25	62.39	61.85	68.38	73.00	81.03	94.91
Berat cawan + tanah kering (W3)	gr	54.80	56.95	66.66	69.02	56.09	59.58	58.68	64.46	67.99	76.42	86.86
Berat cawan peluberan (W4)	gr	97.03	97.03	97.03	97.03	97.03	97.03	97.03	97.03	97.03	97.03	97.03
Berat cawan peluberan + Hg luber (W5)	gr	218.19	201.11	240.37	262.46	242.47	259.17	265.11	292.81	328.83	304.71	439.50
Berat Hg luber (W6= W5 - W4)	gr	121.16	104.08	143.34	165.43	145.44	162.14	168.08	195.78	231.80	207.68	342.47
Berat tanah basah (W7= W2 - W1)	gr	16.40	14.18	19.51	22.62	19.80	22.48	23.15	26.82	31.41	28.30	45.21
Volume tanah $V = \frac{W_6}{\gamma_{raksa}} = \frac{W_6}{13,6}$	cc	8.91	7.65	10.54	12.16	10.69	11.92	12.36	14.40	17.04	15.27	25.18
Berat air (W8= W2 - W3)	gr	0.48	0.86	1.62	2.16	2.16	2.81	3.17	3.92	5.01	4.61	8.05
Berat tanah kering (W9= W3 - W1)	gr	15.92	13.32	17.89	20.46	17.64	19.67	19.98	22.90	26.40	23.69	37.16
Kadar air $\omega = \frac{W_8}{W_9} \times 100\%$	%	3.01	6.46	9.05	10.56	12.24	14.28	15.87	17.12	18.97	19.46	21.66
Berat volume tanah, $\gamma_t$	gr/cc	1.841	1.852	1.851	1.859	1.852	1.886	1.873	1.863	1.843	1.853	1.795
Berat volume tanah kering, $\gamma_d$	gr/cc	1.787	1.740	1.698	1.682	1.650	1.650	1.616	1.591	1.549	1.552	1.476
No. piknometer		46	25	46	25	46	25	46	25	46	25	46
Berat piknometer (W10)	gr	84.70	87.77	84.70	100.07	84.70	88.24	87.77	87.77	87.77	100.07	84.70
Berat piknometer + air (W11)	gr	333.06	336.02	333.06	348.45	333.06	336.47	336.02	336.02	336.02	348.45	333.06
Berat piknometer + tanah + air (W12)	gr	351.78	354.77	351.78	367.48	351.78	355.23	354.77	354.77	354.77	367.48	351.78
Berat piknometer + tanah kering (W13 )	gr	114.77	117.82	114.77	130.43	114.77	118.39	117.82	117.82	117.82	130.43	114.77
Temperatur campuran tanah + air (T1°C)	°C	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	27.00	27.00	26.00	26.00	26.00	26.00
$G_s \left( \text{pada } T_1^{\circ}C \right) = \frac{W_{13} - W_{10}}{\alpha (W_{11} - W_{10}) - \alpha (W_{12} - W_{13})}$		2.65	2.66	2.65	2.68	2.65	2.65	2.66	2.66	2.66	2.68	2.65
Gs (pada 20°C) = a.Gs (pada T1°C)		2.646	2.654	2.646	2.672	2.646	2.643	2.654	2.654	2.654	2.672	2.646
Angka Pori [e = { [(1 + w)Gs] /gt} - 1]		0.480	0.525	0.558	0.589	0.604	0.602	0.642	0.668	0.713	0.722	0.793
Porositas [n = e/(1 + e)]	%	32.441	34.442	35.830	37.071	37.640	37.580	39.102	40.063	41.636	41.944	44.218
Derajat Kejenuhan (Sr = (w% X Gs)/e) %		16.608	32.627	42.898	47.900	53.660	62.718	65.596	67.969	70.598	71.974	72.296

Pengecekan :	538.783	1123.729	1537.023	1775.714	2019.774	2356.946	2564.939	2723.029	2939.405	3018.846	3196.758
Sr . N = $\gamma_d$ . wc	538.783	1123.729	1537.023	1775.714	2019.774	2356.946	2564.939	2723.029	2939.405	3018.846	3196.758
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK



## SUCTION TEST

Lokasi : Desa Meliwang. Kecamatan Kerek. Kabupaten Tuban  
 Penguji : Rizka Adi Ariesnawan

Fase D-W		Pembasahan										
		dry 100%	wet 10%	wet 20%	wet 30%	wet 40%	wet 50%	wet 60%	wet 70%	wet 80%	wet 90%	wet 100%
		0	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11
Weight of wet paper	gr	0.0205	0.0210	0.0215	0.0220	0.0230	0.0235	0.0247	0.0250	0.0260	0.0265	0.0280
Weight of dry paper	gr	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0210
Weight of moisture	gr	0.0005	0.0010	0.0015	0.0020	0.0030	0.0035	0.0047	0.0050	0.0060	0.0065	0.0070
Water cont. of paper	%	2.50	5.00	7.50	10.00	15.00	17.50	23.50	25.00	30.00	32.50	33.33
Logarithmic Suction		5.132	4.938	4.743	4.548	4.159	3.964	3.496	3.380	2.990	2.795	2.730
Suction	kPa	135596.97	86596.43	55303.17	35318.32	14404.56	9199.20	3135.81	2396.07	977.24	624.09	537.44

Fase D-W		Pengerangan										
		wet 100%	dry 10%	dry 20%	dry 30%	dry 40%	dry 50%	dry 60%	dry 70%	dry 80%	dry 90%	dry 100%
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Weight of wet paper	gr	0.0280	0.0260	0.0255	0.0250	0.0237	0.0230	0.0223	0.0217	0.0215	0.0207	0.0205
Weight of dry paper	gr	0.0210	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
Weight of moisture	gr	0.0070	0.0060	0.0055	0.0050	0.0037	0.0030	0.0023	0.0017	0.0015	0.0007	0.0005
Water cont. of paper	%	33.33	30.00	27.50	25.00	18.50	15.00	11.50	8.50	7.50	3.50	2.50
Logarithmic Suction		2.730	2.990	3.185	3.380	3.886	4.159	4.431	4.665	4.743	5.054	5.132
Suction	kPa	537.44	977.24	1530.21	2396.07	7688.65	14404.56	26986.71	46222.13	55303.17	113331.33	135596.97

Fase D-W		Pembasahan 2										
		dry 100%	wet 10%	wet 20%	wet 30%	wet 40%	wet 50%	wet 60%	wet 70%	wet 80%	wet 90%	wet 100%
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Weight of wet paper	gr	0.0205	0.0213	0.0218	0.0225	0.0230	0.0240	0.0250	0.0255	0.0262	0.0267	0.0275
Weight of dry paper	gr	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
Weight of moisture	gr	0.0005	0.0013	0.0018	0.0025	0.0030	0.0040	0.0050	0.0055	0.0062	0.0067	0.0075
Water cont. of paper	%	2.50	6.50	9.00	12.50	15.00	20.00	25.00	27.50	31.00	33.50	37.50
Logarithmic Suction		5.132	4.821	4.626	4.353	4.159	3.769	3.380	3.185	2.912	2.717	2.406
Suction	kPa	135596.97	66168.30	42257.13	22555.37	14404.56	5874.89	2396.07	1530.21	816.77	521.61	254.54



## HASIL PENGUJIAN TES ELEMEN BENDER

Lokasi : Desa Mliwang, Kec. Kerek, Kab Tuban  
 Penguji : Rizka Adi Ariesnawan  
 Tanggal pengujian :  
 Pengkondisian : Pembasahan pengeringan

Fase D-W		A		B		C		D		E		F	
		dry 100%		wet 20%		wet 40%		wet 60%		wet 80%		wet 100%	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Tinggi sample ( H )	( m )	0.04	0.041	0.0414	0.0403	0.043	0.042	0.041	0.043	0.041	0.042	0.044	0.041
Diameter sample ( D )	( m )	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038
Waktu rambat gelombang ( t ), bacaan alat	( $\mu$ )	30.7	31.8	34.3	32.3	38.8	48.5	55.8	66.8	65.8	61.8	74	81
Waktu rambat gelombang ( t )	( detik )	0.000307	0.000318	0.000343	0.000323	0.000388	0.000485	0.000558	0.000668	0.000658	0.000618	0.00074	0.00081
Kecepatan rambat gelombang primer ( Vp )	( m/detik )	1302.932	1289.308	1206.997	1247.678	1108.247	865.979	734.767	643.713	623.100	679.612	594.595	506.173
Kecepatan rambat gelombang primer ( Vp ), rata - rata	( m/detik )	1296.120		1227.338		987.113		689.240		651.356		550.384	
Kecepatan rambat gelombang geser ( Vs )	( m/detik )	531.920	526.358	492.754	509.362	452.440	353.535	299.967	262.795	254.380	277.450	242.742	206.644
Kecepatan rambat gelombang geser ( Vs ), rata - rata	( m/detik )	529.139		501.058		402.987		281.381		265.915		224.693	
Berat volume ( $\gamma$ )	( ton/m <sup>3</sup> )	1.996		1.969		1.941		1.851		1.814		1.746	
Ratio berat volume dengan gravitasi ( $\rho$ )	( ton/m <sup>3</sup> . detik <sup>2</sup> /m )	0.200		0.197		0.194		0.185		0.181		0.175	
Modulus geser maksimum ( G <sub>maks</sub> ), rata - rata	( ton/m <sup>2</sup> )	55882.660		49444.167		31525.030		14653.927		12823.920		8814.660	

Fase D-W		G		H		I		J		K	
		dry 20 %		dry 40 %		dry 60 %		dry 80 %		dry 100 %	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Tinggi sample ( H )	( m )	0.044	0.044	0.042	0.042	0.042	0.042	0.041	0.043	0.033	0.036
Diameter sample ( D )	( m )	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Waktu rambat gelombang ( t ), bacaan alat	( $\mu$ )	73.5	67.8	75.8	53.7	47.8	42.8	42.8	41.8	30.1	31.5
Waktu rambat gelombang ( t )	( detik )	0.000735	0.000678	0.000758	0.000537	0.000478	0.000428	0.000428	0.000418	0.000301	0.000315
Kecepatan rambat gelombang primer ( Vp )	( m/detik )	598.639	648.968	554.090	782.123	878.661	981.308	957.944	1028.708	1096.346	1142.857
Kecepatan rambat gelombang primer ( Vp ), rata - rata	( m/detik )	623.804		668.106		929.985		993.326		1119.601	
Kecepatan rambat gelombang geser ( Vs )	( m/detik )	244.394	264.940	226.206	319.300	358.712	400.617	391.079	419.968	447.581	466.569
Kecepatan rambat gelombang geser ( Vs ), rata - rata	( m/detik )	254.667		272.753		379.665		405.524		457.075	
Berat volume ( $\gamma$ )	( ton/m <sup>3</sup> )	1.822		1.836		1.859		1.847		1.841	
Ratio berat volume dengan gravitasi ( $\rho$ )	( ton/m <sup>3</sup> . detik <sup>2</sup> /m )	0.182		0.184		0.186		0.185		0.184	
Modulus geser maksimum ( G <sub>maks</sub> ), rata - rata	( ton/m <sup>2</sup> )	11814.434		13656.846		26795.047		30375.851		38461.368	

## HASIL PENGUJIAN TES ELEMEN BENDER

Lokasi : Desa Mliwang, Kec. Kerek, Kab Tuban  
 Penguji : Rizka Adi Ariesnawan  
 Tanggal pengujian :  
 Pengkondisian : Pembasahan pengeringan

Fase D-W		L		M		N		O		P	
		wet 20%		wet 40%		wet 60%		wet 80%		wet 100%	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Tinggi sample ( H )	( m )	0.042	0.042	0.038	0.042	0.042	0.045	0.045	0.044	0.034	0.034
Diameter sample ( D )	( m )	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Waktu rambat gelombang ( t ), bacaan alat	( $\mu$ )	44.7	45.8	49.8	50.7	75.8	73.5	83.8	72.8	89.8	83.6
Waktu rambat gelombang ( t )	( detik )	0.0000447	0.0000458	0.0000498	0.0000507	0.0000758	0.0000735	0.0000838	0.0000728	0.0000898	0.0000836
Kecepatan rambat gelombang primer ( Vp )	( m/detik )	939.597	917.031	763.052	828.402	554.090	612.245	536.993	604.396	378.619	406.699
Kecepatan rambat gelombang primer ( Vp ), rata - rata	( m/detik )	928.314		795.727		583.167		570.694		392.659	
Kecepatan rambat gelombang geser ( Vs )	( m/detik )	383.589	374.376	311.515	338.194	226.206	249.948	219.226	246.743	154.571	166.034
Kecepatan rambat gelombang geser ( Vs ), rata - rata	( m/detik )	378.983		324.854		238.077		232.985		160.302	
Berat volume ( $\gamma$ )	( $\text{ton/m}^3$ )	1.851		1.852		1.863		1.843		1.807	
Ratio berat volume dengan gravitasi ( $\rho$ )	( $\text{ton/m}^3 \cdot \text{detik}^2/\text{m}$ )	0.185		0.185		0.186		0.184		0.181	
Modulus geser maksimum ( Gmaks ), rata - rata	( $\text{ton/m}^2$ )	26590.591		19541.474		10560.692		10004.622		4644.290	



## POINT LOAD TEST

Lokasi : Desa Meliwang, Kec. Kerek, Kab Tuban  
 Penguji : Rizka Adi Ariesnawan  
 Tanggal pengujian :  
 Pengkondisian : Pembasahan (*Wetting*)

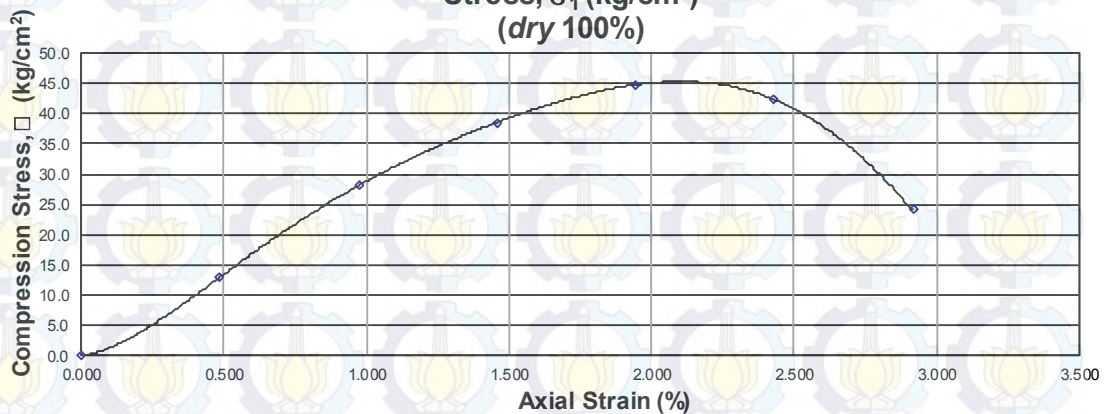
Fase D-W		A dry 100 %		B wet 20 %		C wet 40 %		D wet 60 %		E wet 80 %		Inisial wet 70 %		F wet 100 %	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Diameter sample	mm	3.9	3.8	3.9	3.9	3.7	3.7	3.8	3.8	4.0	4.0	3.7	3.9	4.0	4.0
Height of sample	mm	5.9	7.6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Weight of sample	gr	138.212	157.151	144.080	144.080	130.295	130.295	142.473819	159.7152	177.485	127.333	144.664	162.171	155.875	148.195
Ao	mm <sup>2</sup>	117.63	111.63	117.02	117.02	108.69	108.69	113.41	113.41	125.66	125.66	109.86	120.69	125.66	125.66
Vo	mm <sup>3</sup>	6940.07	8466.97	7407.44	7407.44	6651.62	6651.62	6804.69	6804.69	7539.82	7539.82	7096.85	7663.65	7539.82	7539.82
LRC, proving ring	kg/div	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
Dial reading deform	div	82.00	104.00	25.00	23.00	14.00	14.00	8.40	9.00	0.00	0.00	6.50	6.10	0.00	0.00
Weight of proving ring	gr	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85	2004.85
Weight of point load device	gr	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20	2158.20
P	kg	184.56	232.96	59.16	54.76	34.96	34.96	22.64	23.96	4.16	4.16	18.46	17.58	4.16	4.16
Maksimum Loads, P	kg	208.76		56.96		34.96		23.30		4.16		18.02		4.16	
Point load strength Index, I <sub>c</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	14.31		3.82		2.53		1.61		0.26		1.23		0.26	



UNCONFINED COMPRESSION TEST					
				A	
Diameter sampel =	38.7	mm	Kondisi	:	dry 100 %
Ho	82.3	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	188.09	gr			
Ao	1176.3	mm <sup>2</sup>			
Vo	96808.1	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1-\sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.763	0	0.000	0.0000
0.400	0.486	11.820	40	153.458	12.9826
0.800	0.972	11.878	87	333.772	28.0993
1.200	1.458	11.937	120	460.375	38.5674
1.600	1.944	11.996	140	537.104	44.7734
2.000	2.430	12.056	133	510.249	42.3239
2.400	2.916	12.116	76	291.571	24.0646

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
44.773	2890.72

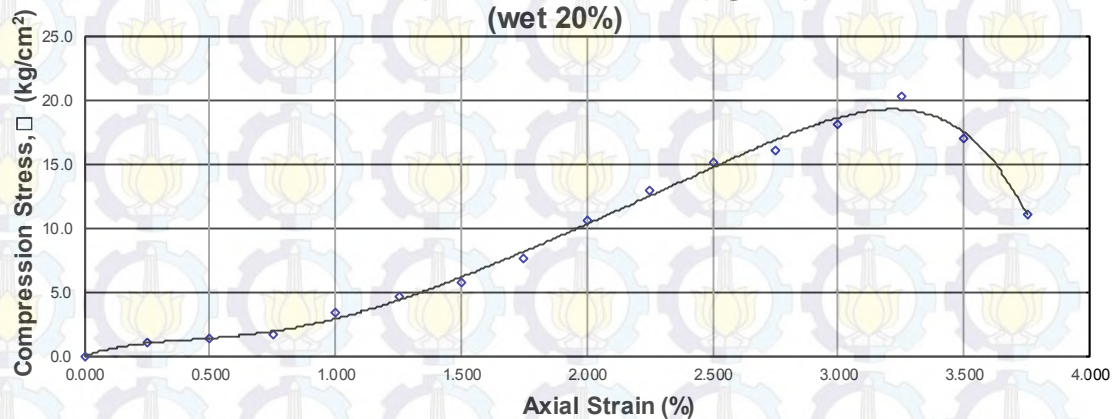
**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%) dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>) (dry 100%)**



UNCONFINED COMPRESSION TEST					
B					
Diameter sampel =	38	mm	Kondisi	:	Wet 20%
Ho =	80	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	182.19	gr			
Ao =	1134.1	mm <sup>2</sup>			
Vo =	90729.2	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\epsilon_1-\epsilon_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.341	0	0.000	0.0000
0.200	0.250	11.370	3	11.509	1.0123
0.400	0.500	11.398	4	15.346	1.3463
0.600	0.750	11.427	5	19.182	1.6787
0.800	1.000	11.456	10	38.365	3.3489
1.000	1.250	11.485	14	53.710	4.6767
1.200	1.500	11.514	17	65.220	5.6645
1.400	1.750	11.543	23	88.239	7.6442
1.600	2.000	11.573	32	122.767	10.6084
1.800	2.250	11.602	39	149.622	12.8960
2.000	2.500	11.632	46	176.477	15.1718
2.200	2.750	11.662	49	187.986	16.1198
2.400	3.000	11.692	55	211.005	18.0471
2.600	3.250	11.722	62	237.860	20.2916
2.800	3.500	11.752	52	199.496	16.9748
3.000	3.750	11.783	34	130.440	11.0701

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
20.292	530.419

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 20%)**

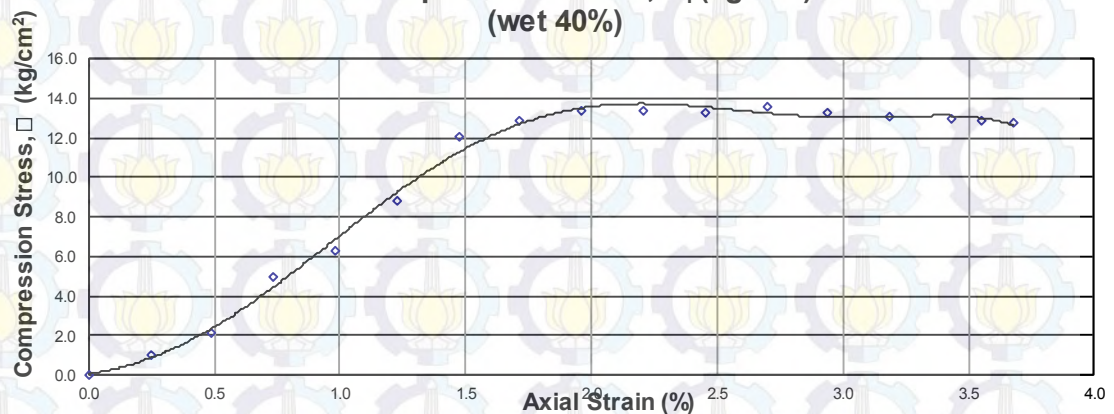




UNCONFINED COMPRESSION TEST					
C					
Diameter sampel =	38.3	mm	Kondisi	:	Wet 40%
Ho	81.6	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel	=	188976	gr		
Ao	=	1152.1	mm <sup>2</sup>		
Vo	=	94010.8	mm <sup>3</sup>		
Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1-\sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.521	0	0.000	0.0000
0.200	0.245	11.549	28	12.264	1.0619
0.400	0.490	11.578	56	24.528	2.1186
0.600	0.735	11.606	131	57.378	4.9437
0.800	0.980	11.635	168	73.584	6.3244
1.000	1.225	11.664	235	102.930	8.8247
1.200	1.471	11.693	321	140.598	12.0242
1.400	1.716	11.722	345	151.110	12.8911
1.600	1.961	11.751	360	157.680	13.4180
1.800	2.206	11.781	359	157.242	13.3473
2.000	2.451	11.810	357	156.366	13.2397
2.200	2.696	11.840	367	160.746	13.5764
2.400	2.941	11.870	360	157.680	13.2839
2.600	3.186	11.900	355	155.490	13.0663
2.800	3.431	11.930	352	154.176	12.9231
2.900	3.554	11.945	351	153.738	12.8700
3.000	3.676	11.961	349	152.862	12.7804

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
13.576	645.086

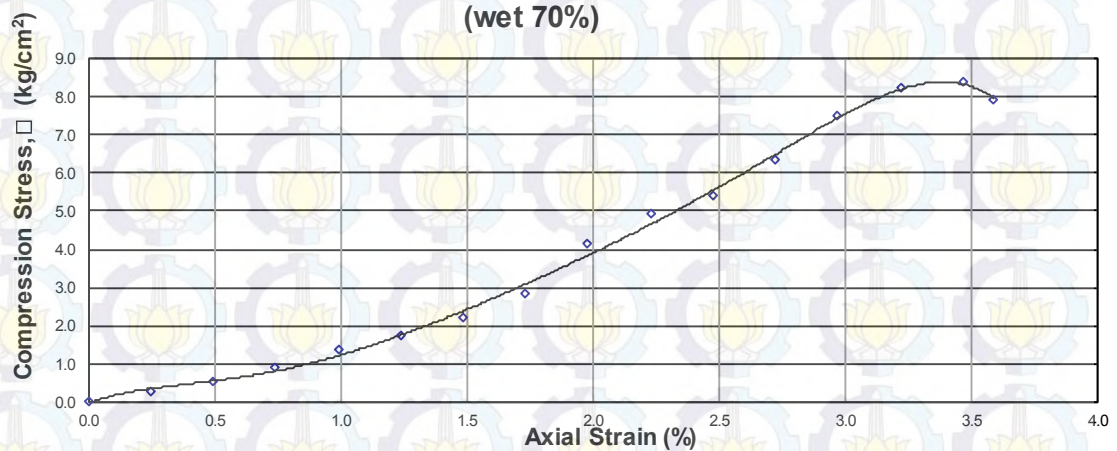
**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 40%)**



UNCONFINED COMPRESSION TEST					
D					
Diameter sampel =	38.3	mm	Kondisi	:	Wet 70%
Ho =	80.8	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	193.709	gr			
Ao =	1152.1	mm <sup>2</sup>			
Vo =	93089.1	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1-\sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.521	0	0.000	0.0000
0.200	0.248	11.550	7	3.066	0.2655
0.400	0.495	11.578	14	6.132	0.5296
0.600	0.743	11.607	23	10.074	0.8679
0.800	0.990	11.636	36	15.768	1.3551
1.000	1.238	11.665	46	20.148	1.7272
1.200	1.485	11.695	59	25.842	2.2097
1.400	1.733	11.724	76	33.288	2.8393
1.600	1.980	11.754	111	48.618	4.1364
1.800	2.228	11.783	132	57.816	4.9066
2.000	2.475	11.813	145	63.510	5.3761
2.200	2.723	11.843	171	74.898	6.3240
2.400	2.970	11.874	203	88.914	7.4884
2.600	3.218	11.904	224	98.112	8.2420
2.800	3.465	11.934	228	99.864	8.3677
2.900	3.589	11.950	216	94.608	7.9171

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
8.368	208.889

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 70%)**

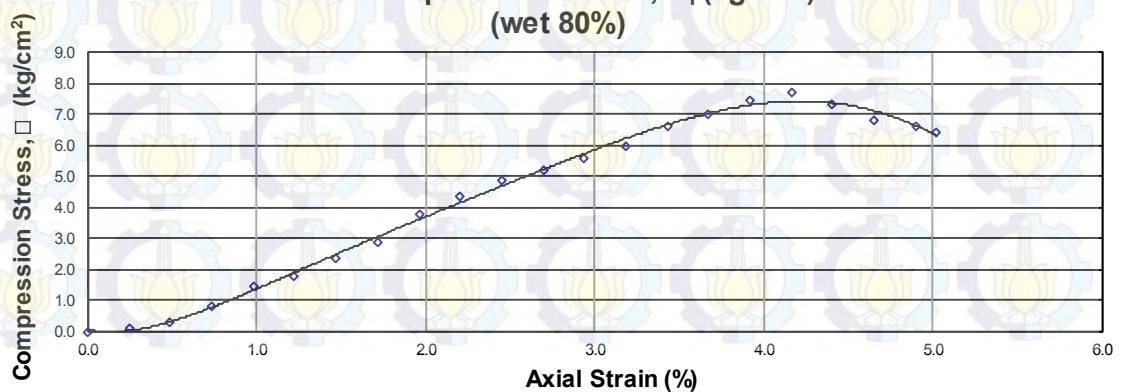




UNCONFINED COMPRESSION TEST					
				E	
Diameter sampel =	38	mm	Kondisi	:	Wet 80%
Ho =	81.68	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	205.9	gr			
Ao =	1134.1	mm <sup>2</sup>			
Vo =	92634.5	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	A=Ao/(1- $\epsilon$ )	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1 - \sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.341	0	0.000	0.0000
0.200	0.245	11.369	2	0.876	0.0771
0.400	0.490	11.397	7	3.066	0.2690
0.600	0.735	11.425	21	9.198	0.8051
0.800	0.979	11.453	38	16.644	1.4532
1.000	1.224	11.482	46	20.148	1.7548
1.200	1.469	11.510	62	27.156	2.3593
1.400	1.714	11.539	75	32.850	2.8469
1.600	1.959	11.568	100	43.800	3.7864
1.800	2.204	11.597	115	50.370	4.3435
2.000	2.449	11.626	130	56.940	4.8977
2.200	2.693	11.655	138	60.444	5.1861
2.400	2.938	11.684	149	65.262	5.5854
2.600	3.183	11.714	160	70.080	5.9826
2.800	3.428	11.744	177	77.526	6.6015
3.000	3.673	11.774	188	82.344	6.9940
3.200	3.918	11.804	202	88.476	7.4957
3.400	4.163	11.834	208	91.104	7.6987
3.600	4.407	11.864	198	86.724	7.3098
3.800	4.652	11.895	186	81.468	6.8492
4.000	4.897	11.925	180	78.840	6.6112
4.100	5.020	11.941	175	76.650	6.4193

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
7.699	193.295

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 80%)**

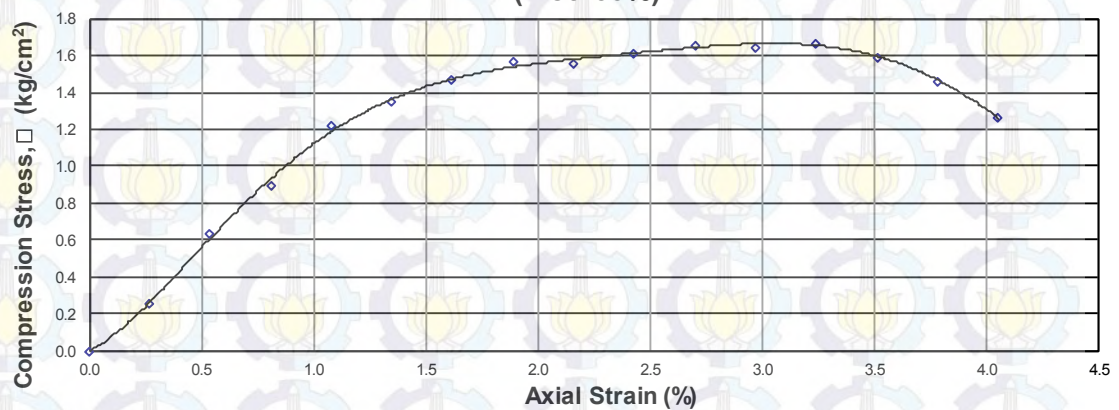




UNCONFINED COMPRESSION TEST					
				F	
Diameter sampel =	38	mm	Kondisi	:	wet 100%
Ho =	74	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	198.787	gr			
Ao =	1134.1	mm <sup>2</sup>			
Vo =	83924.5	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	A=Ao/(1- $\epsilon$ )	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1 - \sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.341	0	0.000	0.0000
0.200	0.270	11.372	7	2.920	0.2568
0.400	0.541	11.403	17	7.300	0.6402
0.600	0.811	11.434	23	10.220	0.8938
0.800	1.081	11.465	32	14.016	1.2225
1.000	1.351	11.497	35	15.476	1.3461
1.200	1.622	11.528	39	16.936	1.4691
1.400	1.892	11.560	41	18.104	1.5661
1.600	2.162	11.592	41	18.104	1.5618
1.800	2.432	11.624	43	18.688	1.6077
2.000	2.703	11.656	44	19.272	1.6534
2.200	2.973	11.689	44	19.272	1.6488
2.400	3.243	11.721	45	19.564	1.6691
2.600	3.514	11.754	43	18.688	1.5899
2.800	3.784	11.787	39	17.228	1.4616
3.000	4.054	11.820	34	14.892	1.2599

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
1.669	110.240

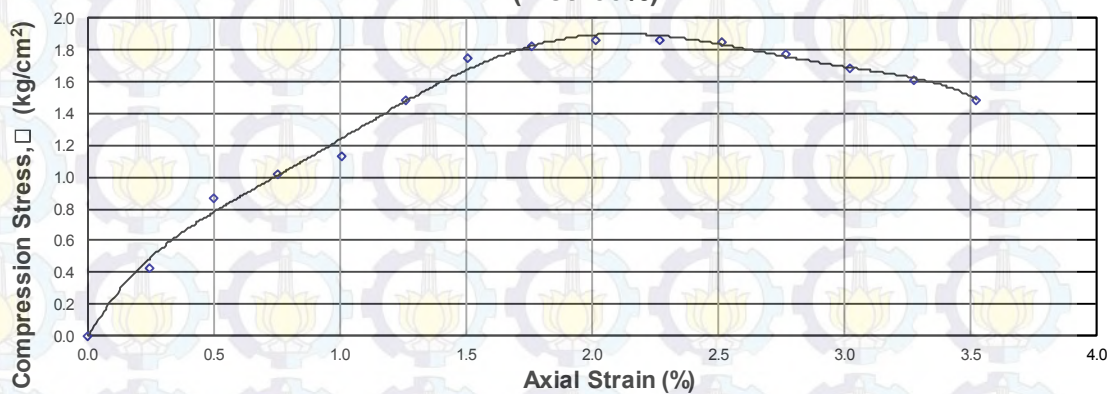
**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan CompressioStress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(Wet100%)**



UNCONFINED COMPRESSION TEST					
				G	
Diameter sampel =	37.5	mm	Kondisi	:	dry 20%
Ho =	79.4	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	189.651	gr			
Ao =	1104.5	mm <sup>2</sup>			
Vo =	87694.6	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1-\sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.045	0	0.000	0.0000
0.200	0.252	11.073	11	4.818	0.4351
0.400	0.504	11.101	22	9.636	0.8681
0.600	0.756	11.129	26	11.388	1.0233
0.800	1.008	11.157	29	12.702	1.1385
1.000	1.259	11.186	38	16.644	1.4880
1.200	1.511	11.214	45	19.710	1.7576
1.400	1.763	11.243	47	20.586	1.8310
1.600	2.015	11.272	48	21.024	1.8652
1.800	2.267	11.301	48	21.024	1.8604
2.000	2.519	11.330	48	21.024	1.8556
2.200	2.771	11.359	46	20.148	1.7737
2.400	3.023	11.389	44	19.272	1.6922
2.600	3.275	11.419	42	18.396	1.6111
2.800	3.526	11.448	39	17.082	1.4921

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
1.865	172.310

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan CompressioStress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(Wet100%)**

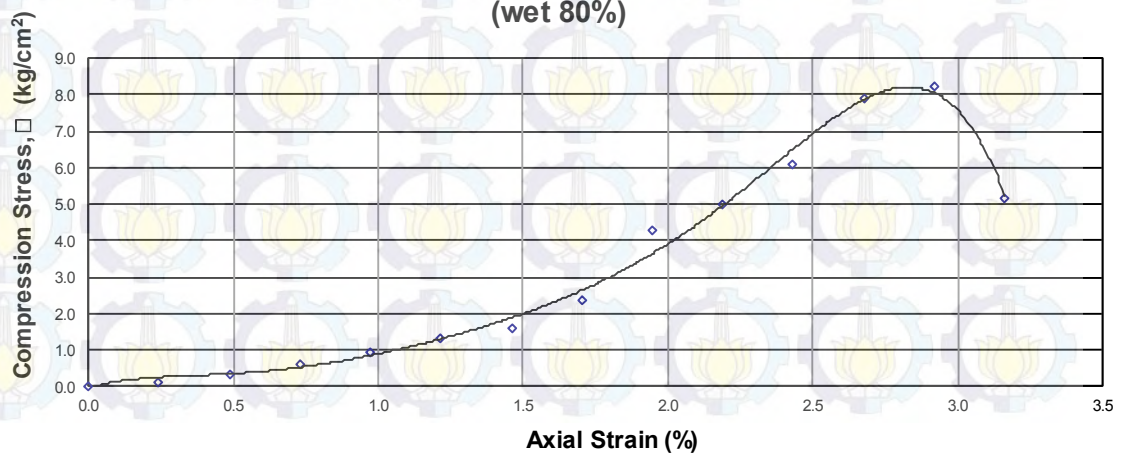




UNCONFINED COMPRESSION TEST					
				<b>H</b>	
Diameter sampel =	38.2	mm	Kondisi	:	dry 30%
Ho =	82.2	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	204.777	gr			
Ao =	1146.1	mm <sup>2</sup>			
Vo =	94208.1	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1-\sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.461	0	0.000	0.0000
0.200	0.243	11.489	4	1.752	0.1525
0.400	0.487	11.517	10	4.380	0.3803
0.600	0.730	11.545	16	7.008	0.6070
0.800	0.973	11.573	25	10.950	0.9461
1.000	1.217	11.602	35	15.330	1.3213
1.200	1.460	11.631	43	18.834	1.6193
1.400	1.703	11.659	64	28.032	2.4042
1.600	1.946	11.688	114	49.932	4.2719
1.800	2.190	11.717	134	58.692	5.0089
2.000	2.433	11.747	163	71.394	6.0778
2.200	2.676	11.776	212	92.856	7.8852
2.400	2.920	11.806	222	97.236	8.2365
2.600	3.163	11.835	140	61.320	5.1812

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
8.236	219.471

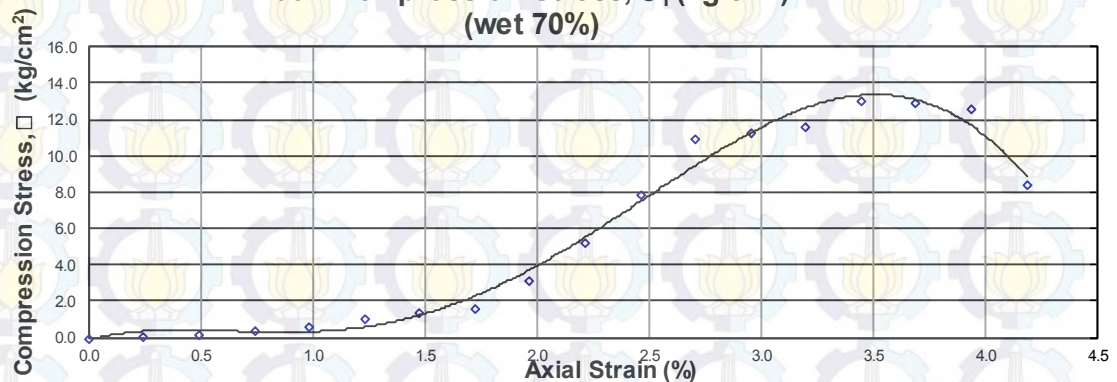
**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 80%)**



UNCONFINED COMPRESSION TEST					
I					
Diameter sampel =	38.5	mm	Kondisi	:	dry 60%
Ho =	81.3	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	193.709	gr			
Ao =	1164.2	mm <sup>2</sup>			
Vo =	94645.9	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	A=Ao/(1- $\epsilon$ )	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1 - \sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.642	0	0.000	0.0000
0.200	0.246	11.670	3	1.314	0.1126
0.400	0.492	11.699	5.5	2.409	0.2059
0.600	0.738	11.728	10	4.380	0.3735
0.800	0.984	11.757	16	7.008	0.5961
1.000	1.230	11.787	27	11.826	1.0033
1.200	1.476	11.816	37	16.206	1.3715
1.400	1.722	11.846	43.5	19.053	1.6085
1.600	1.968	11.875	84	36.792	3.0982
1.800	2.214	11.905	143.5	62.853	5.2795
2.000	2.460	11.935	214.5	93.951	7.8718
2.200	2.706	11.965	299	130.962	10.9451
2.400	2.952	11.996	308	134.904	11.2460
2.600	3.198	12.026	318	139.284	11.5817
2.800	3.444	12.057	358	156.804	13.0054
3.000	3.690	12.088	358	156.804	12.9723
3.200	3.936	12.119	348	152.424	12.5777
3.400	4.182	12.150	234	102.492	8.4358

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
13.005	238.457

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 70%)**

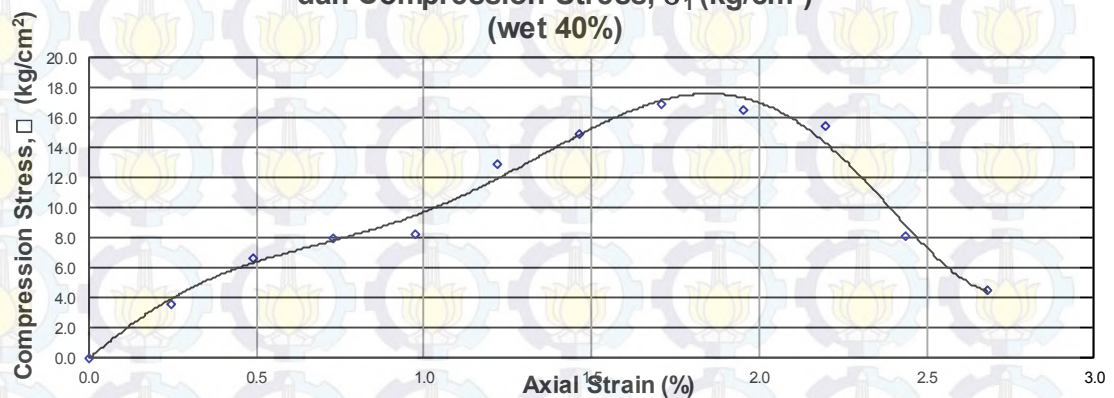




UNCONFINED COMPRESSION TEST					
J					
Diameter sampel =	38	mm	Kondisi	:	dry 80%
Ho =	82	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	188976	gr			
Ao =	1134.1	mm <sup>2</sup>			
Vo =	92997.4	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1-\sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.341	0	0.000	0.0000
0.200	0.244	11.369	11	42.201	3.7120
0.400	0.488	11.397	20	76.729	6.7325
0.600	0.732	11.425	24	92.075	8.0593
0.800	0.976	11.453	25	95.911	8.3744
1.000	1.220	11.481	39	149.622	13.0319
1.200	1.463	11.510	45	172.641	14.9997
1.400	1.707	11.538	51	195.659	16.9576
1.600	1.951	11.567	50	191.823	16.5839
1.800	2.195	11.596	47	180.313	15.5500
2.000	2.439	11.625	25	95.911	8.2507
2.200	2.683	11.654	14	53.710	4.6088

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
16.958	858.379

Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 40%)

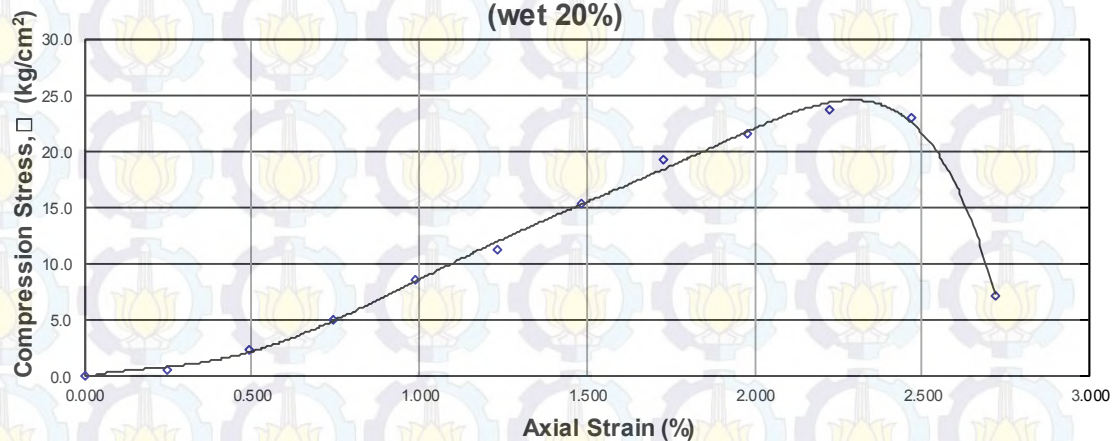




UNCONFINED COMPRESSION TEST					
				K	
Diameter sampel =	38	mm	Kondisi	:	dry 100 %
Ho =	81	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	182.19	gr			
Ao =	1134.1	mm <sup>2</sup>			
Vo =	91863.3	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	A=Ao/(1- $\epsilon$ )	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\sigma_1 - \sigma_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.341	0	0.000	0.0000
0.200	0.247	11.369	2	7.673	0.6749
0.400	0.494	11.397	7	26.855	2.3562
0.600	0.741	11.426	15	57.547	5.0366
0.800	0.988	11.454	26	99.748	8.7084
1.000	1.235	11.483	34	130.440	11.3594
1.200	1.481	11.512	46	176.477	15.3302
1.400	1.728	11.541	58	222.515	19.2810
1.600	1.975	11.570	65	249.370	21.5537
1.800	2.222	11.599	72	276.225	23.8147
2.000	2.469	11.628	70	268.552	23.0948
2.200	2.716	11.658	22	84.402	7.2400

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
23.815	920.115

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 20%)**



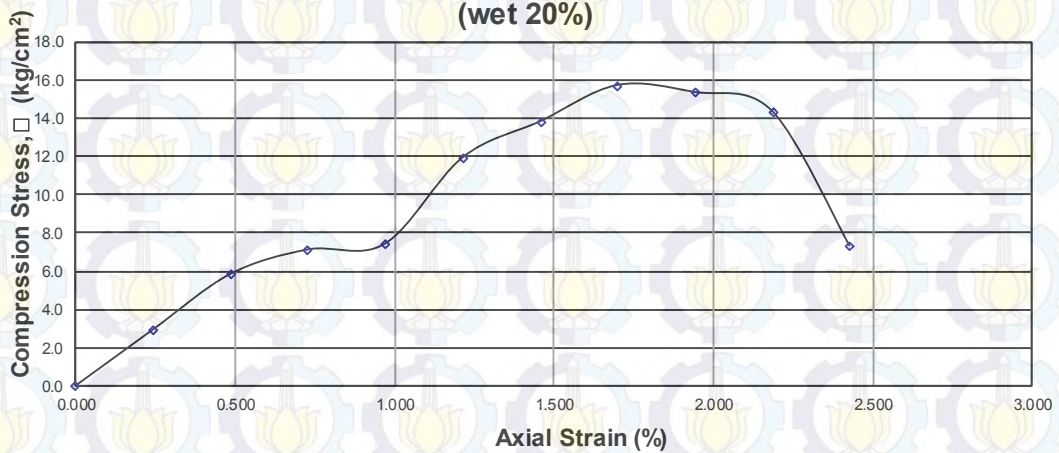
## UNCONFINED COMPRESSION TEST

				<b>L</b>
Diameter sampel =	38.7	mm	Kondisi	: Wet 20%
Ho =	82.3	mm	Kedalaman (m)	: 14
Berat sampel =	188.09	gr		
Ao =	1176.3	mm <sup>2</sup>		
Vo =	96808.1	mm <sup>3</sup>		

Deformasi	Regangan	$A = A_o / (1 - \square)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\square_1 - \square_3$ kg/cm <sup>2</sup>
			Div		
0.00	0.000	11.763	0	0.000	0.0000
0.200	0.243	11.791	9	34.528	2.9282
0.400	0.486	11.820	18	69.056	5.8422
0.600	0.729	11.849	22	84.402	7.1230
0.800	0.972	11.878	23	88.239	7.4286
1.000	1.215	11.908	37	141.949	11.9210
1.200	1.458	11.937	43	164.968	13.8200
1.400	1.701	11.966	49	187.986	15.7095
1.600	1.944	11.996	48	184.150	15.3509
1.800	2.187	12.026	45	172.641	14.3558
2.000	2.430	12.056	23	88.239	7.3192

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
15.710	764.212

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\varepsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 20%)**



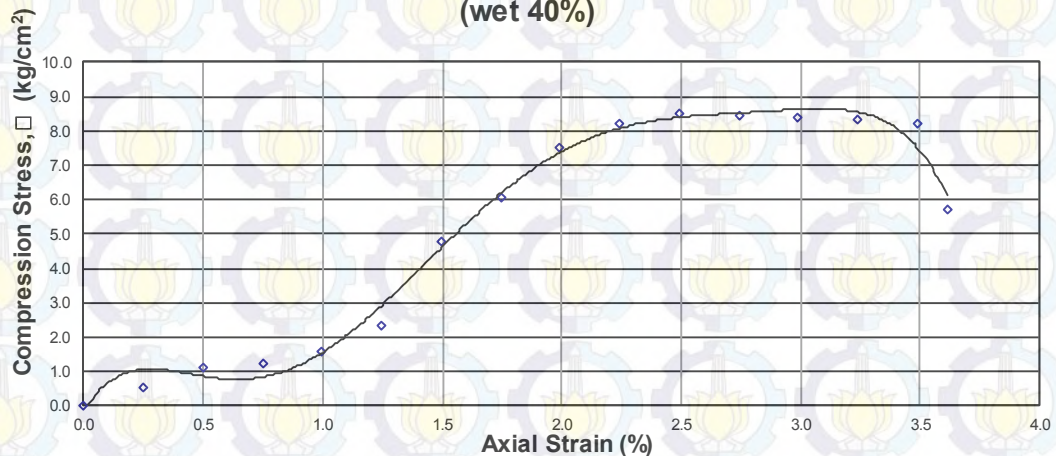


## UNCONFINED COMPRESSION TEST

				<b>M</b>	
Diameter sampel =	37.5	mm	Kondisi	:	Wet 40%
Ho =	80.3	mm	Kedalaman (m)	:	14
Berat sampel =	205.9	gr			
Ao =	1104.5	mm <sup>2</sup>			
Vo =	88688.6	mm <sup>3</sup>			
Deformasi	Regangan	$A=A_o/(1-\epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.045	0	0.000	0.0000
0.200	0.249	11.072	14	6.132	0.5538
0.400	0.498	11.100	28	12.264	1.1049
0.600	0.747	11.128	31	13.578	1.2202
0.800	0.996	11.156	40	17.520	1.5705
1.000	1.245	11.184	60	26.280	2.3498
1.200	1.494	11.212	122	53.436	4.7659
1.400	1.743	11.241	155	67.890	6.0397
1.600	1.993	11.269	193	84.534	7.5013
1.800	2.242	11.298	212	92.856	8.2189
2.000	2.491	11.327	220	96.360	8.5073
2.200	2.740	11.356	220	96.360	8.4855
2.400	2.989	11.385	218	95.484	8.3869
2.600	3.238	11.414	217	95.046	8.3270
2.800	3.487	11.444	215	94.170	8.2290
2.900	3.611	11.458	150	65.700	5.7337

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
8.507	318.916

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 40%)**



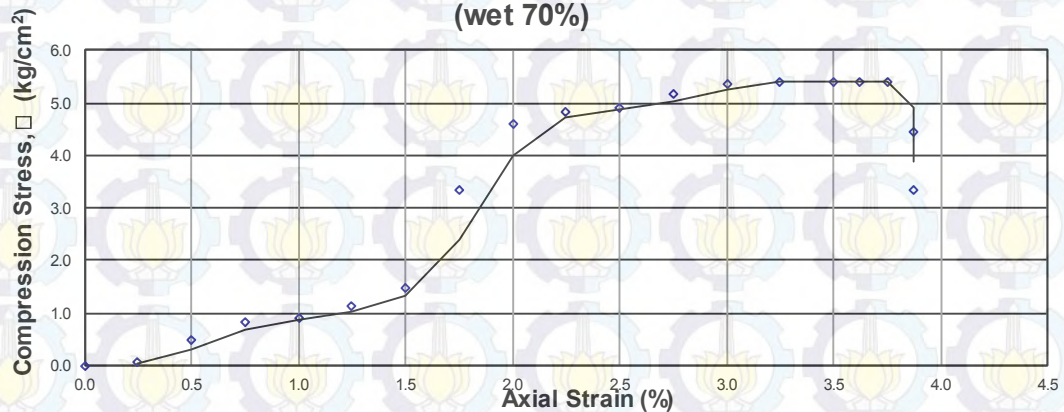
## UNCONFINED COMPRESSION TEST

			<b>N</b>
Diameter sampel =	38	mm	Kondisi : Wet 70%
Ho =	80	mm	Kedalaman (m) : 14
Berat sampel =	193.709	gr	
Ao =	1134.1	mm <sup>2</sup>	
Vo =	90729.2	mm <sup>3</sup>	

Deformasi	Regangan	$A = A_o / (1 - \square)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	$\square_1 - \square_3$
			Div		kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.341	0	0.000	0.0000
0.200	0.250	11.370	2	0.876	0.0770
0.400	0.500	11.398	13	5.694	0.4996
0.600	0.750	11.427	22	9.636	0.8433
0.800	1.000	11.456	24	10.512	0.9176
1.000	1.250	11.485	30	13.140	1.1441
1.200	1.500	11.514	39	17.082	1.4836
1.400	1.750	11.543	88	38.544	3.3391
1.600	2.000	11.573	122	53.436	4.6175
1.800	2.250	11.602	128	56.064	4.8322
2.000	2.500	11.632	130	56.940	4.8951
2.200	2.750	11.662	138	60.444	5.1831
2.400	3.000	11.692	143	62.634	5.3570
2.600	3.250	11.722	145	63.510	5.4180
2.800	3.500	11.752	145	63.510	5.4040
2.900	3.625	11.768	145	63.510	5.3970
3.000	3.750	11.783	145	63.510	5.3900
3.100	3.875	11.798	120	52.560	4.4549
3.100	3.875	11.798	90	39.420	3.3411

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
5.418	190.807

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 70%)**





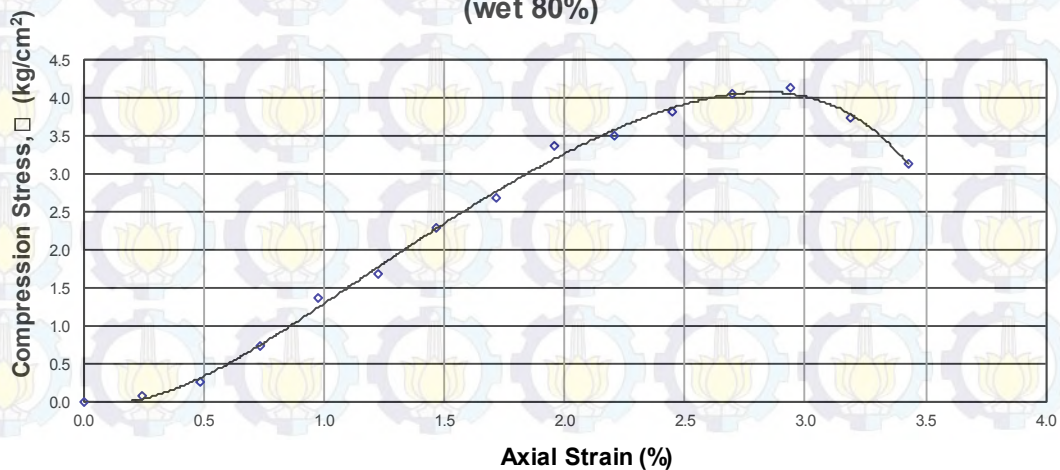
## UNCONFINED COMPRESSION TEST

			<b>O</b>
Diameter sampel =	38	mm	Kondisi : Wet 80%
Ho =	81.68	mm	Kedalaman (m) : 14
Berat sampel =	205.9	gr	
Ao =	1134.1	mm <sup>2</sup>	
Vo =	92634.5	mm <sup>3</sup>	

Deformasi	Regangan	$A = A_o / (1 - \epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban	kg	kg/cm <sup>2</sup>
			Div		
0.00	0.000	11.341	0	0.000	0.0000
0.200	0.245	11.369	2	0.876	0.0771
0.400	0.490	11.397	7	3.066	0.2690
0.600	0.735	11.425	19	8.322	0.7284
0.800	0.979	11.453	36	15.768	1.3767
1.000	1.224	11.482	44	19.272	1.6785
1.200	1.469	11.510	60	26.280	2.2832
1.400	1.714	11.539	71	31.098	2.6951
1.600	1.959	11.568	89	38.982	3.3699
1.800	2.204	11.597	93	40.734	3.5125
2.000	2.449	11.626	101	44.238	3.8052
2.200	2.693	11.655	108	47.304	4.0587
2.400	2.938	11.684	110	48.180	4.1234
2.600	3.183	11.714	100	43.800	3.7391
2.800	3.428	11.744	84	36.792	3.1329

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
4.123	157.237

**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\epsilon$  (%)  
dan Compression Stress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(wet 80%)**



## UNCONFINED COMPRESSION TEST

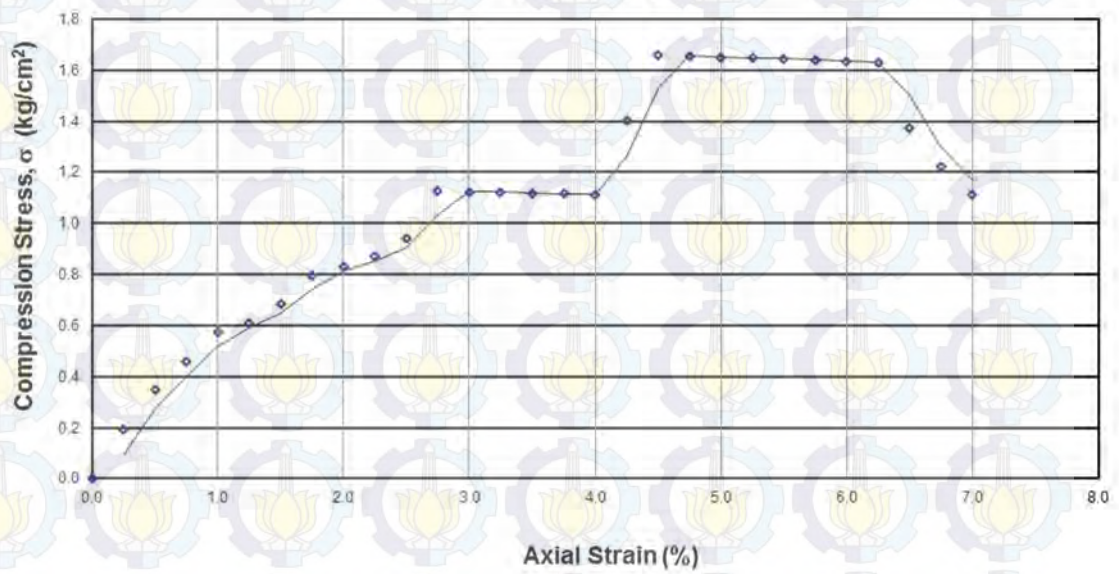
				<b>P</b>
Diameter sampel =	38	mm	Kondisi :	wet 100%
Ho =	80	mm	Kedalaman (m) :	14
Berat sampel =	182.19	gr		
Ao =	1134.1	mm <sup>2</sup>		
Vo =	90729.2	mm <sup>3</sup>		

Deformasi	Regangan	$A = A_o / (1 - \epsilon)$	Bacaan Dial	P	Tegangan
mm	%	cm <sup>2</sup>	Beban Div	kg	$\epsilon_1 - \epsilon_3$ kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.000	11.341	0	0.000	0.0000
0.200	0.250	11.370	5	2.190	0.1926
0.400	0.500	11.398	9	3.942	0.3458
0.600	0.750	11.427	12	5.256	0.4600
0.800	1.000	11.456	15	6.570	0.5735
1.000	1.250	11.485	16	7.008	0.6102
1.200	1.500	11.514	18	7.884	0.6847
1.400	1.750	11.543	21	9.198	0.7968
1.600	2.000	11.573	22	9.636	0.8327
1.800	2.250	11.602	23	10.074	0.8683
2.000	2.500	11.632	25	10.950	0.9414
2.200	2.750	11.662	30	13.140	1.1268
2.400	3.000	11.692	30	13.140	1.1239
2.600	3.250	11.722	30	13.140	1.1210
2.800	3.500	11.752	30	13.140	1.1181
3.000	3.750	11.783	30	13.140	1.1152
3.200	4.000	11.814	30	13.140	1.1123
3.400	4.250	11.845	38	16.644	1.4052
3.600	4.500	11.876	45	19.710	1.6597
3.800	4.750	11.907	45	19.710	1.6554
4.000	5.000	11.938	45	19.710	1.6510
4.200	5.250	11.970	45	19.710	1.6467
4.400	5.500	12.001	45	19.710	1.6423
4.600	5.750	12.033	45	19.710	1.6380
4.800	6.000	12.065	45	19.710	1.6336
5.000	6.250	12.097	45	19.710	1.6293
5.200	6.500	12.130	38	16.644	1.3722
5.400	6.750	12.162	34	14.892	1.2245
5.600	7.000	12.195	31	13.578	1.1134

qu	E
(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
1.660	57.351



**Grafik Hubungan Antara Axial Strain,  $\varepsilon$  (%)  
dan CompressioStress,  $\sigma_1$  (kg/cm<sup>2</sup>)  
(Wet100%)**



# Match! Phase Analysis Report

Sample: CS 14 S1

## Sample Data

File name	CS 14 S1.rd
File path	E:/THESIS/THSS/THESIS RHIZZ/XRD/XRD fix/Rizka/CS 14 wet 1
Data collected	Jan 14, 2015 16:18:04
Temperature	0.0
Data range	2.940° - 69.930°
Number of points	4010
Step size	0.017
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

## Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	57.0	Illite	A <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
B	30.8	Quartz	O <sub>2</sub> Si
C	10.8	Kaolinite	A <sub>2</sub> O <sub>9</sub> Si <sub>2</sub>
D	1.3	Montmorillonite	A <sub>2</sub> Ca O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>

### A: Illite (57.0 %)

Formula sum	A <sub>2</sub> H <sub>2</sub> K O <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.781771
Total number of peaks	263
Space group	C 1 2/m 1
Crystal system	monoclinic
Unit cell	a= 5.2100 Å b= 9.0200 Å c= 10.1590 Å β= 101.400 °
I/cor	0.89
Calc. density	2.834 g/cm <sup>3</sup>

### B: Quartz (30.8 %)

Formula sum	O <sub>2</sub> Si
Figure-of-Merit (FoM)	0.712922
Total number of peaks	34
Space group	P 31 2 1
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Unit cell	a= 4.8120 Å c= 5.3270 Å
I/cor	4.38
Calc. density	2.802 g/cm <sup>3</sup>

### C: Kaolinite (10.8 %)

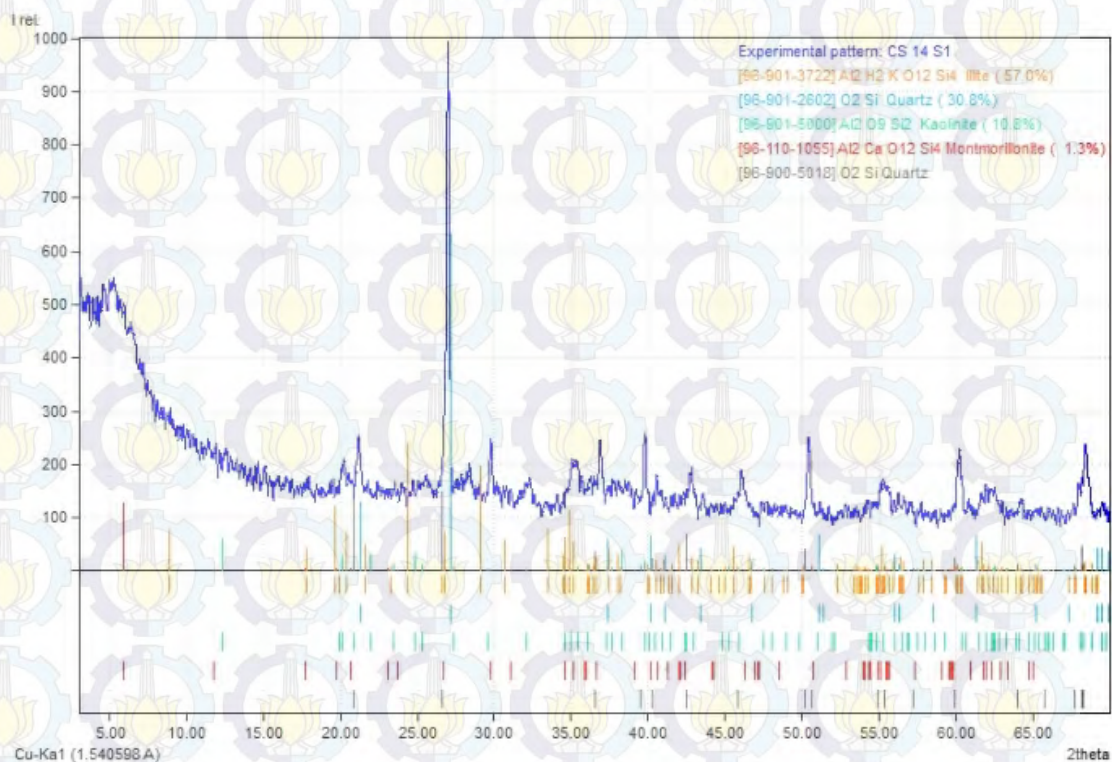
Formula sum	A <sub>2</sub> O <sub>9</sub> Si <sub>2</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.747272
Total number of peaks	260
Space group	C 1 c 1
Crystal system	monoclinic
Unit cell	a= 5.1480 Å b= 8.9200 Å c= 14.5350 Å β= 100.200 °
I/cor	1.17
Calc. density	2.568 g/cm <sup>3</sup>



**D: Montmorillonite (1.3 %)**

Formula sum Al<sub>2</sub> Ca O<sub>12</sub> Si<sub>4</sub>  
Figure-of-Merit (FoM) 0.596961  
Total number of peaks 92  
Space group P 1  
Crystal system triclinic (anorthic)  
Unit cell  $a = 5.1800 \text{ \AA}$   $b = 8.9800 \text{ \AA}$   $c = 15.0000 \text{ \AA}$   $\alpha = 90.000^\circ$   $\beta = 90.000^\circ$   $\gamma = 90.000^\circ$   
V/cor 20.53  
Calc. density 1.800 g/cm<sup>3</sup>

**Diffraction Pattern Graphics**



# Match! Phase Analysis Report

Sample: CS 14 S2

## Sample Data

File name	CS 14 S2.rd
File path	E:/THESIS/THSS/THESIS RHIZZ/XRD/XRD fix/Rizka/CS 14
Data collected	Jan 14, 2015 16:18:03
Temperature	0.0
Data range	3.170° - 70.160°
Number of points	4010
Step size	0.017
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

## Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	54.9	Illite	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> KO <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
B	41.7	Quartz	O <sub>2</sub> Si
C	3.4	Montmorillonite	Al <sub>0.86</sub> Fe <sub>0.1</sub> HLi <sub>0.08</sub> Mg <sub>0.14</sub> O <sub>10</sub> Si <sub>3.9</sub>

### A: Illite (54.9 %)

Formula sum	Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> KO <sub>12</sub> Si <sub>4</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.782730
Total number of peaks	262
Space group	C 1 2/m 1
Crystal system	monoclinic
Unit cell	a= 5.1994 Å b= 8.9815 Å c= 10.2330 Å β= 101.600°
V <sub>cell</sub>	0.92
Calc. density	2.834 g/cm <sup>3</sup>

### B: Quartz (41.7 %)

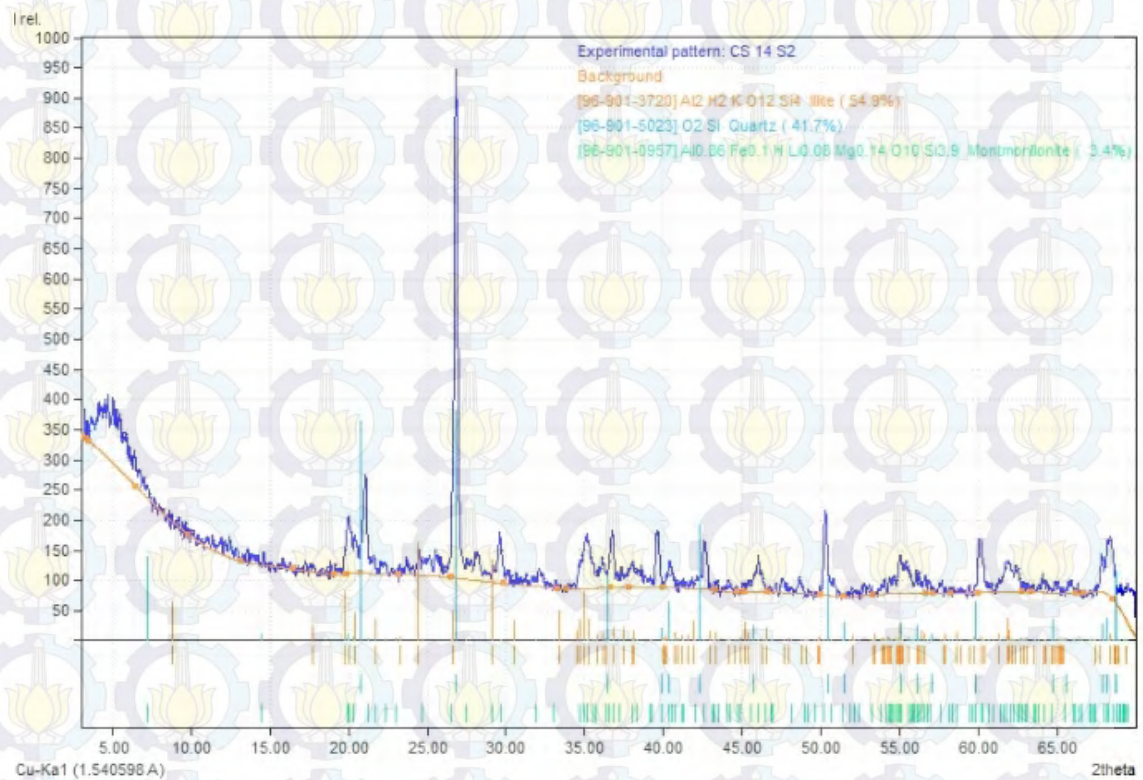
Formula sum	O <sub>2</sub> Si
Figure-of-Merit (FoM)	0.723673
Total number of peaks	35
Space group	P 3 <sub>2</sub> 2 1
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Unit cell	a= 4.9290 Å c= 5.3190 Å
V <sub>cell</sub>	2.83
Calc. density	2.673 g/cm <sup>3</sup>

### C: Montmorillonite (3.4 %)

Formula sum	Al <sub>0.86</sub> Fe <sub>0.1</sub> HLi <sub>0.08</sub> Mg <sub>0.14</sub> O <sub>10</sub> Si <sub>3.9</sub>
Figure-of-Merit (FoM)	0.626150
Total number of peaks	298
Space group	C 1 2/m 1
Crystal system	monoclinic
Unit cell	a= 5.1750 Å b= 8.8960 Å c= 12.4500 Å β= 99.690°
V <sub>cell</sub>	12.69
Calc. density	1.782 g/cm <sup>3</sup>



## Diffraction Pattern Graphics



Match! Copyright © 2003-2014 CRYSTAL IMPACT, Bonn, Germany

## DAFTAR PUSTAKA

- American Standard for testing Materials (ASTM), D4644-04, United States
- Aditya, D. N. (2013). *Geologi Dan Lingkungan Pengendapan Formasi Tuban Daerah Kerek Dan Sekitarnya Kabupaten Tuban Provinsi Jawa Timur* (Doctoral Dissertation, UPN" Veteran" Yogyakarta).
- Bowles, J.E., 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, McGraw-Hill Inc., USA.
- Chen Fu Hua (1975), "*Foundation on E xpansive Soil*", Elsevier Publishing Company pp.9-99.
- Christady, Hardiyatmo Hary, 1992. *Mekanika Tanah*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Das, B.M. 2011. *Principles of Soil Dynamic,second edition*.New York: PWS Publish
- DAS, Braja M., (translated by Mochtar N.E. and Mochtar I.B.), 2002. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*, Erlangga, Jakarta.
- Dearman, W. R., Baynes, F. J., dan Irfan, T. Y., *Engineering grading of weathered granit*, Eng. Geology, 12, 345-374, (1978).
- Firman, I. (2008). *Biostratigrafi Dan Studi Lingkungan Pengendapan Formasi Ngrayong Di Daerah Cepu*. Tesis Magister, Program Studi Magister Teknik Geologi Opsi Geologi Migas Institut Teknologi Bandung.
- Holtz, w. G. dan Gibbs, J. J. (1956). "*Engineering Properties of Expansive Clays*". ASCE Transaction Paper No. 2814, Vol. 121 1956.
- Indarto (2012). "*Kelakuan Tanah Ekspansif Serta Akibatnya pada Bangunan dan Jalan Sederhana*". ITS Press. Surabaya.
- Indarto dan Soemitro, R.A.A., 2009.*Penelitian Sifat Dinamis Tanah Residual Tidak Terganggu (Undisturbed Residual Soils)Studi Kasus: Tanah Residual Kabupaten Jember, Mojokerto dan Malang*, Penelitian Guru Besar, ITS.



- M. Irsyam, (2010). "*Slope Failure Of An Embankment On Clay Shale At Km 97+500 Of The Cipularang Toll Road And The Selected Solution*", International Symposium on Geotechnical Engineering, Bangkok, Thailand.
- Mitchell, J.K. 1976. "*Fundamentals of Soil Behavior*", John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Philips, K and Odukoya.O. (1986), "*A study of the montmorillonitic clay-shale and The overlying reddish-brown clay deposits at ibese , ogun state Of nigeria*", Clay Science 6, 235-249.
- Sadisun, I. A., Shimada, H., & Matsui, K. (2000). *Characterization of weathered claystone and their engineering significance*. In Indonesian scientific meeting, Fukuoka, Japan. ISSN (pp. 1343-2451).
- Schaefer, V. R., and M. A. Birchmier. (2013) "*Mechanisms of Strength Loss during Wetting and Drying of Pierre Shale*". Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris.
- Snethen, D.R., Johnson, L.D. dan Patrick. D. M. (1977). "*An Evaluation Of Expedient Methodology For Identification Of Potentially Expansive Soil And Pavement Lab*". U. S. Army Eng. Waterway Exp. Sta. Vicksburg, MS Rep. No. FHWA-RE; 77;94.NTIS PB-289-164.
- Standard Operasional Pelaksanaan Praktikum Mekanika Tanah dan Rekayasa Pondasi, 2009.
- Soetojo, Moesdarjono, 2009, *Teknik Pondasi pada Lapisan Batuan*. ITS Press. Surabaya.
- Wakim, Jad. "*Effect of water on the mechanical behaviour of shales*." Colloque Post-Mining. 2005.
- Wikipedia (2007). *The Free Encyclopedia*, Florida, U.S.A.
- William, E. (2007). *Engineering performance of Bringelly shale*, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 9A.